



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Departamento de Termodinámica Aplicada

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS BARRERAS FÍSICAS SOBRE LA RADIACIÓN UVB ERITEMÁTICA RECIBIDA POR LAS PERSONAS

Tesis doctoral



Autor: Gonzalo Gurrea Ysasi
Director: Javier Cañada Ribera

RESUMEN DE LA TESIS DOCTORAL “ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS BARRERAS FÍSICAS SOBRE LA RADIACIÓN UVB ERITEMÁTICA RECIBIDA POR LAS PERSONAS”

La presente tesis se basa en el estudio del efecto que tienen diferentes barreras físicas sobre la radiación ultravioleta eritemática recibida por las personas.

El objetivo de la investigación es evaluar la influencia que tienen 3 tipos de barreras físicas frente a la radiación solar UVB recibida por las personas. Las tres barreras que se analizan son: a) árboles: se analizan dos tipos diferentes de árboles, b) muros verticales: se analiza la influencia de muros de hormigón y metal cuando están situados frente al Sol y son susceptibles, pues, de reflejar la radiación sobre la persona que está frente a ellos, c) ventanillas de un vehículo: se analiza la influencia de la posición de las ventanillas (abiertas o cerradas) en diferentes situaciones del interior de un coche.

Para analizar la influencia de estas tres barreras físicas, se ha procedido de la siguiente forma: se ha dispuesto, por una parte, de un conjunto de dosímetros, que son aparatos de medida que registran la energía acumulada en un cierto intervalo de tiempo en J/m^2 , cuya capacidad que va desde 500 a 5500 J/m^2 . Por otra parte, se ha contado con dos radiómetros que miden la irradiancia UVB en W/m^2 .

La metodología para el estudio del efecto cada barrera física ha consistido en:

a) **árboles**: se han analizado dos tipos diferentes de árbol para así estudiar la influencia que tiene la diferente densidad de la copa de los mismos. Se han colocado los dosímetros a la sombra de los árboles y a pleno Sol.

b) **muros verticales**: se han analizado dos tipos de muro: de hormigón y de chapa metálica. En este caso, se han colocado para cada tipo de muro dos dosímetros; uno en posición horizontal y otro en posición vertical en dirección al muro. Los muros estaban orientados a Sur.

c) **ventanillas de un vehículo**: en este caso se han colocado un total de 8 dosímetros repartidos en las posiciones de: horizontal en la posición del conductor, vertical en la posición del conductor, lateral en la posición del conductor, brazo del conductor, horizontal en la posición del pasajero, vertical en la posición del pasajero, lateral en la posición del pasajero y en la posición del brazo del pasajero. Se han realizado medidas con las ventanillas completamente cerradas y completamente abiertas. El coche estaba orientado de forma que el Sol entraba por la ventanilla del conductor.

Las medidas, tanto de árboles como de muros y del coche, se han tomado en días relativamente despejados y abarcando todas las épocas del año.

RESUM DE LA TESI DOCTORAL “ANÀLISI DE L’EFECTE DE LES BARRERES FÍSQUES SOBRE LA RADIACIÓ UVB ERITEMÀTICA REBUDA PER LES PERSONES”

La present tesi es basa en l’estudi de l’efecte que tenen diferents barreres físiques sobre la radiació ultravioleta eritemàtica rebuda per les persones.

L’objectiu de l’investigació es avaluar la influència que tenen 3 tipus diferents de barreres físiques davant la radiació solar UVB rebuda per les persones. Les tres barreres que s’analitzen són: a) arbres: s’analitzen dos tipus diferents d’arbres, b) murs verticals: s’analitza la influència de murs de formigó i metal quan estan situats de cara al Sol i són susceptibles, per tant, de reflectir la radiació sobre la persona que està situada de cara a d’ells, c) finestres d’un vehicle: s’analitza la influència de la posició de les finestres (obertes o tancades) en diferents situacions de l’interior d’un cotxe.

Per a analitzar la influència d’aquestes tres barreres físiques, s’ha comptat amb la següent metodologia: s’ha disposat, d’una banda, d’un conjunt de dosímetres, que són aparells de mesura que registren la energia acumulada en un cert interval de temps en J/m^2 . D’altra banda, s’ha comptat amb dos radiòmetres que mesuren la irradiància UVB en W/m^2 .

La metodologia per a l’estudi de l’efecte de cada barrera física ha consistit en:

a) **arbres**: s’han analitzat dos tipus diferents d’arbre per a així estudiar la influència que té la diferent densitat de la copa dels mateixos. S’han col·locat els corresponents dosímetres a l’ombra dels arbres i a ple Sol.

b) **murs verticals**: s’han analitzat dos tipus de mur: de formigó i de metal. En aquest cas, s’han col·locat per a cada tipus de mur dos dosímetres; un en posició horitzontal i l’altre en posició vertical en direcció al mur. Els murs estaven orientats cap al Sud.

c) **finestres d’un vehicle**: en aquests casos s’han col·locat un total de 8 dosímetres repartits en les posicions de: horitzontal en la posició del conductor, vertical en la posició del conductor, lateral en la posició del conductor, en el braç del conductor, horitzontal en la posició del passager, vertical en la posició del passager, lateral en la posició del passager i en la posició del braç del passager. S’han realitzat mesures amb les finestres completament tancades i completament obertes. El cotxe estava orientat de tal manera que el Sol entrava sempre per la finestra del conductor.

Les mesures, tant del cas dels arbres com del mur i del cotxe, s’han pres en dies relativament clars i comprnent totes les èpoques de l’any.

SUMMARY OF THE THESIS "ANALYSIS OF THE EFFECT OF PHYSICAL BARRIERS ON THE UVB ERYTHEMATOSUS RADIATION RECEIVED BY PEOPLE"

This thesis is based on the study of the effect that different physical barriers have on ultraviolet erythematosus radiation received by people.

The goal of this research is to evaluate the influence of three types of physical barriers against UVB solar radiation received by people. The three barriers discussed are: a) trees: two different types of trees are analyzed, b) vertical walls: the influence of concrete and metal walls is analyzed when they are placed in front of the sun and are likely therefore to reflect radiation on the person in front of them, c) vehicle windows: the influence of the position of the windows (open or closed) is analyzed in different situations inside a car.

In order to study the influence of these three natural barriers, it has proceeded as follows: it has been prepared, on one hand, a set of dosimeters, which measure the energy stored in a certain time interval J/m^2 , with a capacity ranging from 500 to 5500 J/m^2 . On the other hand, two radiometers have been available to measure the UVB irradiance in W/m^2 .

The methodology for the study of the effect of each physical barrier consisted of:

a) **trees**, two different types of tree have been analyzed in order to study the influence of the different density of tree canopy. Dosimeters were placed under the shade of the trees and in full sun.

b) **vertical walls**: two types of walls have been analyzed: concrete and sheet metal. In this case, two dosimeters have been placed for each type of wall, in horizontal and vertical position directed to wall. The walls were facing south.

c) **vehicle windows**: in this case a total of eight dosimeters have been distributed in the positions of: horizontal in the driving position, vertical in the driving position, lateral in the driving position, driver's arm, horizontal in the passenger position, vertical in the passenger position, lateral in the passenger position and on the passenger's arm position. Measurements were carried out with the windows fully closed and fully open. The car was oriented so that the sun was coming through the driver's window.

The measures, in all cases (trees, vertical walls and vehicles) were taken into relatively clear days and covering all seasons.

*“What the mind can conceive
and believe, it can achieve”*

Napoleon Hill

Agradecimientos

La realización de esta tesis ha sido el resultado de varios años de intenso trabajo en los que se han tenido que ir superando obstáculos de diversa índole. Un camino difícil que, sin embargo, ha resultado un reto intelectual y personal que ahora veo más cerca de conseguir.

Sin duda, a lo largo de este camino, he contado con la ayuda inestimable de quienes han creído en que podía sacar esto adelante y que, como siempre, han estado ahí en los momentos buenos y en los no tan buenos. Gracias a *mi pequeña*, porque me has dado el ánimo, el cariño y el apoyo necesario para tomar las últimas decisiones en este camino que han posibilitado que hoy esté escribiendo estas líneas. Has sido la mejor compañera de equipo que se puede tener y me has dado la motivación necesaria para seguir día a día.

A mis padres y a mi hermana, porque como siempre, habéis estado ahí en todo momento dándome mucho más de lo que necesitaba y confiando ciegamente en mi cuando ni yo mismo lo hacía.

Quiero recordar de una manera muy especial a mi abuelo Alberto, que estuvo pendiente de mí desde el primer examen que hice en la carrera, felicitándome al instante de saber que había aprobado con un SMS y mostrándome siempre lo orgulloso que se sentía de lo que yo estaba haciendo. Recuerdo que me dijo una vez: “cuando seas doctor, haremos una gran fiesta”. Ya está más cerca ese momento y te aseguro abuelo, que vas a estar muy presente.

Por supuesto, agradecer su labor al director de mi tesis, Javier Cañada al que escogí como tutor, no solo de mi tesis, sino de mi proyecto fin de carrera por la primera clase que me dio en 5º de carrera de la asignatura Energía Solar y en la que, con media hora de explicación, me transmitió mucha pasión por lo que estaba haciendo.

Agradecer también al Instituto Tecnológico de la Energía que me ha permitido, mientras desarrollaba mi labor profesional en su empresa, emplear también sus instalaciones para tomar las medidas que han valido para el desarrollo de esta tesis.

Índice

1. MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO	23
1.1.- Caso I: influencia de los árboles sobre la UVER	24
1.2.- Caso II: influencia de los muros verticales sobre la UVER	25
1.3.- Caso III: influencia de las ventanillas de los vehículos sobre la UVER	26
2. CONCEPTOS TEÓRICOS	27
2.1.- La constante solar	28
2.2.- Paso de la radiación solar a través de la atmósfera	28
2.3.- Definiciones	35
2.4.- Medida del tiempo y la posición solar	40
2.5.- El espectro electromagnético	41
2.6.- Radiación UV	42
2.7.- Función de ponderación CIE	43
2.8.- Efecto de la radiación ultravioleta sobre la piel	45
2.9.- Unidades radiométricas	49
2.10.- Influencia de la atmósfera sobre la radiación ultravioleta	51
2.11.- Sistemas de medida	57
3. ANTECEDENTES	63
3.1.- Influencia de los árboles sobre la radiación UV	64
3.2.- Influencia de los muros verticales sobre la radiación UV	68
3.3.- Influencia de las ventanillas de los vehículos sobre la radiación UV	71
4. SISTEMA DE MEDIDA	73
4.1.- EQUIPOS EMPLEADOS	74
4.1.1.- Dosímetros	74
4.1.2.- Radiómetros	77
4.2.- METODOLOGÍA	81
4.2.1.- Caso I: árboles	81
4.2.2.- Caso II: muros verticales	92
4.2.3.- Caso III: vehículos	101
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL CASO I: INFLUENCIA DE LOS ÁRBOLES SOBRE LA UVER	113
5.1.- Análisis de la influencia de los árboles sobre la UVER durante la época de febrero-marzo-abril	114
5.2.- Análisis de la influencia de los árboles sobre la UVER durante la época de mayo-junio	125
5.3.- Análisis de la influencia de los árboles sobre la UVER durante la época de julio- septiembre	133

5.4.- Análisis de la influencia de los árboles sobre la UVER durante la época de octubre-noviembre-diciembre	142
5.5.- Comparación de las medidas para todo el año	150
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL CASO II: INFLUENCIA DE LOS MUROS VERTICALES SOBRE LA UVER	161
6.1.- Análisis de la influencia de los muros verticales sobre la UVER durante la época de febrero-marzo-abril	162
6.2.- Análisis de la influencia de los muros verticales sobre la UVER durante la época de mayo-junio	174
6.3.- Análisis de la influencia de los muros verticales sobre la UVER durante la época de julio-septiembre	179
6.4.- Análisis de la influencia de los muros verticales sobre la UVER durante la época de octubre-noviembre-diciembre.....	185
6.5.- Comparación de las medidas para todo el año	191
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL CASO III: INFLUENCIA DE LAS VENTANILLAS DE LOS VEHÍCULOS SOBRE LA UVER.....	203
7.1.- Análisis de la influencia de las ventanillas de los vehículos sobre la UVER durante la época de febrero-marzo-abril.....	204
7.2.- Análisis de la influencia de las ventanillas de los vehículos sobre la UVER durante la época de mayo-junio.....	226
7.3.- Análisis de la influencia de las ventanillas de los vehículos sobre la UVER durante la época de julio-septiembre	243
7.4.- Análisis de la influencia de las ventanillas de los vehículos sobre la UVER durante la época de octubre-noviembre-diciembre	260
7.5.- Comparación de las medidas para todo el año	276
8. CONCLUSIONES.....	291
BIBLIOGRAFÍA	297
ANEXO A	303

Índice de figuras

Figura 2.1.- La constante solar	28
Figura 2.2.- Recorrido de la radiación solar hasta llegar a la superficie terrestre..	29
Figura 2.3.- Masa óptica de aire.	31
Figura 2.4.- Espectro de absorción de los diferentes constituyentes atmosféricos.....	32
Figura 2.5.- Variaciones de temperatura y concentraciones de ozono en las principales capas atmosféricas.	33
Figura 2.6.- Dispersión para distintos tamaños de partículas	34
Figura 2.7.- Trayectoria del sol un día cualquiera de la época de primavera con referencia a coordenadas horizontales	37
Figura 2.8.- Coordenadas angulares solares	38
Figura 2.9.- Espectro electromagnético	42
Figura 2.10.- Espectro de acción para el eritema humano.....	44
Figura 2.11.- Espectro de acción para la fotoconjuntivitis (1) y para la fotoqueratitis (2).	45
Figura 2.12.- Imagen a partir de la composición de datos del instrumento TOMS a bordo del Earth Probe. Elaborada por la NASA. Las unidades son kJ/m ²	49
Figura 2.13.- Razón de la transmisión de la radiación ultravioleta a la radiación total para diferentes espesores de nubes (τ_c).....	52
Figura 2.14.- Ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie horizontal	54
Figura 2.15.- Radiación ultravioleta horaria (kJ/m ²) en función de la altura solar	54
Figura 2.16.- Transmitancia espectral para diferentes modelos de atmósferas: la línea continua sería la irradiancia recibida para condiciones estándar. Las líneas discontinuas muestran los efectos de variar condiciones individualmente	57
Figura 2.17.- Pirheliómetro	58
Figura 2.18.- Piranómetro para plano inclinado y piranómetro blanco-negro	59
Figura 2.19.- Dosímetro X2000-4 colocado en el pantalón de un voluntario para un estudio de campo	60
Figura 2.20.- Dosímetro de polisulfona.....	61
Figura 3.1.- Irradiancia espectral a pleno sol y en la sombra de un árbol	64
Figura 3.2.- Irradiancia espectral DNA en (1) la sombra de un árbol y (2) a pleno sol .	65
Figura 3.3.- Ratio de sombra espectral en diferentes posiciones de la sombra de un árbol.....	66
Figura 3.4.- Irradiancia espectral en (1) plano horizontal, (2) plano vertical hacia muro galvanizado y (3) plano vertical hacia muro de plástico negro	68
Figura 3.5.- Irradiancia espectral en el espectro de acción del eritema para (1) plano horizontal al sol, (2) frente a muro galvanizado y (3) frente a muro de plástico	69
Figura 4.1.- Dosímetro VioSpor	74
Figura 4.2.- Sensibilidad relativa de respuesta de los dosímetros empleados.....	75
Figura 4.3.- Detalle constructivo del dosímetro	76
Figura 4.4.- Radiómetro PMA2102C empleado en las medidas de irradiancia eritemática	78
Figura 4.5.- Comparación entre la respuesta del sensor PMA2100 y el espectro de acción de eritema	78
Figura 4.6.- Radiómetro PMA2100 conectado a los sensores PMA2102C empleados .	80
Figura 4.7.- Ubicación del Instituto de Tecnología Eléctrica donde se realizaron las medidas	81
Figura 4.8.- Árbol A	82
Figura 4.9.- Densidad de la copa del árbol A	82

Figura 4.10.- Árbol B	83
Figura 4.11.- Soporte empleado para la colocación de los dosímetros	84
Figura 4.12.- Dosímetro colocado en la sombra del árbol A.....	85
Figura 4.13.- Dosímetro colocado a la sombra del árbol B.....	86
Figura 4.14.- Equipo empleado para la medida de la irradiancia UVER	89
Figura 4.15.- Situación del muro donde se efectuaron las medidas	92
Figura 4.16.- Dimensiones y disposición del muro de metal	93
Figura 4.17.- Dimensiones y disposición del muro de hormigón.....	93
Figura 4.18.- Soporte utilizado para la colocación de los dosímetros.....	94
Figura 4.19.- Posiciones equivalentes del maniquí y del soporte empleado	95
Figura 4.20.- Soporte colocado frente a muro metálico	96
Figura 4.21.- Soporte situado frente a muro de hormigón.....	96
Figura 4.22.- Soporte situado sin muro enfrente	97
Figura 4.23.- Equipo de medida empleado para la medida de la irradiancia frente a los muros	99
Figura 4.24.- Situación de la zona donde se efectuaron las medidas en el coche	101
Figura 4.25.- Vehículo empleado en el estudio	102
Figura 4.26.- Dimensiones del vehículo	102
Figura 4.27.- Desplazamiento del asiento para simular la zona ocupada por una persona	104
Figura 4.28.- Disposición de los dosímetros del conductor	105
Figura 4.29.- Colocación de los dosímetros del pasajero	105
Figura 4.30.- Soporte utilizado para la colocación de los dosímetros al exterior del vehículo	106
Figura 4.31.- Movimiento del vehículo para seguir la posición del sol a lo largo del día	107
Figura 4.32.- Equipo de medida empleado para la medida de la irradiancia en el vehículo	110
Figura 5.1.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para febrero-marzo	115
Figura 5.2.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en febrero-marzo.....	116
Figura 5.3.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de febrero-marzo.....	118
Figura 5.4.- Evolución del ángulo cenital solar promedio en los días de medida y a lo largo del año.	119
Figura 5.5.- Valores de irradiancia para un día medio del mes de abril en el caso de árboles.....	122
Figura 5.6.- Cociente de exposición en un día medio del mes de abril en el caso de árboles.....	124
Figura 5.7.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para mayo-junio.	126
Figura 5.8.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en mayo-junio	127
Figura 5.9.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de mayo-junio	128
Figura 5.10.- Valores de irradiancia para un día medio de la época mayo-junio.....	130
Figura 5.11.- Cociente de exposición de la irradiancia recibida en la sombra del árbol respecto a la recibida a pleno sol para el árbol A y el árbol B en la época de mayo- junio.....	132
Figura 5.12.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para julio-septiembre.	135
Figura 5.13.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en la época de julio- septiembre.....	136

Figura 5.14.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de julio-septiembre.....	137
Figura 5.15.- Valores de irradiancia a la sombra del árbol A, a la sombra del árbol B y a pleno sol para un día de la época de julio-septiembre	139
Figura 5.16.- Ratio de exposición de la irradiancia recibida en la sombra del árbol respecto a la recibida a pleno sol para el árbol A y el árbol B en la época de julio-septiembre.....	141
Figura 5.17.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para octubre-noviembre-diciembre.....	143
Figura 5.18.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en octubre-noviembre-diciembre	144
Figura 5.19.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de octubre-noviembre-diciembre	145
Figura 5.20.- Valores de irradiancia para un día del mes de noviembre	147
Figura 5.21.- Cociente de exposición en un día promedio del mes de noviembre.....	149
Figura 5.22.- Variación del cociente de exposición de sombra a lo largo del año para los árboles A y B.....	151
Figura 5.23.- Comparativa del FPUVER a lo largo del año para los árboles A y B. ...	153
Figura 5.24.- Irradiancia diaria media a pleno sol para las distintas épocas del año en días promedio de medida.....	157
Figura 5.25.- Irradiancia diaria media bajo la sombra del árbol A para las distintas épocas del año en días promedio de medida.....	158
Figura 5.26.- Irradiancia media bajo la sombra del árbol B para las distintas épocas del año en días promedio de medida	158
Figura 5.27.- Cociente de exposición de la irradiancia UVER bajo la sombra del árbol A para las distintas épocas del año en días promedio de medida.....	159
Figura 5.28.- Cociente de exposición de la irradiancia UVER bajo la sombra del árbol B para las distintas épocas del año en días promedio de medida.....	159
Figura 6.1.- Valores de UVER a pleno sol, frente e muro metálico y frente a muro de hormigón, para febrero-marzo	164
Figura 6.2.-Irradiancia diaria media sobre plano horizontal sin muro, frente a muro metálico y frente a muro de hormigón para un día del mes de abril	170
Figura 6.3.- Irradiancia diaria media sobre plano vertical sin muro, frente a muro metálico y frente a muro de hormigón para un día del mes de abril	170
Figura 6.4.- Cociente de exposición UVER frente a muro respecto a sin muro tanto para el caso de muro de hormigón como de muro metálico para posición horizontal para un día del mes de abril.....	172
Figura 6.5.- Cociente de exposición UVER frente a muro respecto a sin muro tanto para el casos de muro de hormigón como de muro metálico para posición vertical para un día del mes de abril.....	173
Figura 6.6.- Resumen de valores UVER a pleno sol, frente a muro metálico y frente a muro de hormigón, para mayo-junio	175
Figura 6.7.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, frente e muro metálico y frente a muro de hormigón, para julio-septiembre.	181
Figura 6.8.- Resumen de valores UVER a pleno sol, frene a muro metálico y frente a muro de hormigón, para octubre-noviembre-diciembre.....	186
Figura 6.9.- Coeficiente de reflexión del muro metálico para el día 16 de noviembre	190
Figura 6.10.- Evolución del cociente de exposición UVER (frente a muro metálico) / UVER (sin muro) para cada época del año	194
Figura 6.11.- Evolución del cociente de exposición UVER (frente muro de hormigón) / UVER (sin muro) para cada época del año	196

Figura 6.12.- Evolución del cociente de exposición UVER (frente muro metálico) / UVER (frente muro de hormigón) para cada época del año	198
Figura 7.1.- Dosis UVER en distintas posiciones en la época de febrero-marzo para el caso de coches..	207
Figura 7.2.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas cerradas en la época de febrero-marzo.....	207
Figura 7.3.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas abiertas en la época de febrero-marzo.....	208
Figura 7.4.- UVER para el caso del conductor en la época de febrero-marzo	209
Figura 7.5.- UVER para el caso del pasajero en la época de febrero-marzo.....	210
Figura 7.6.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el conductor en la época de febrero-marzo.....	212
Figura 7.7.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el conductor en la época de febrero-marzo	213
Figura 7.8.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el conductor en la época de febrero-marzo.....	213
Figura 7.9.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el conductor en la época de febrero-marzo.....	214
Figura 7.10.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el pasajero en la época de febrero-marzo	215
Figura 7.11.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el pasajero en la época de febrero-marzo	216
Figura 7.12.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el pasajero en la época de febrero-marzo	216
Figura 7.13.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el pasajero en la época de febrero-marzo	217
Figura 7.14.- Irradiancia diaria media en posición horizontal dentro del coche con las ventanillas cerradas y al exterior del coche para un día medio del mes de abril.....	222
Figura 7.15.- Irradiancia diaria media en posición horizontal dentro del coche con las ventanillas cerradas para un día medio del mes de abril	223
Figura 7.16.- Irradiancia diaria media en posición horizontal dentro del coche con las ventanillas abiertas y al exterior del coche para un día medio del mes de abril.....	223
Figura 7.17.- Irradiancia diaria media en posición horizontal y vertical dentro del coche con las ventanillas cerradas para un día medio del mes de abril	224
Figura 7.18.- Irradiancia diaria media en posición horizontal y vertical dentro del coche con las ventanillas abiertas para un día medio del mes de abril.....	224
Figura 7.19.- Dosis UVER en distintas posiciones en la época de mayo-junio	229
Figura 7.20.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas cerradas en la época de mayo-junio..	229
Figura 7.21.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas abiertas en la época de mayo-junio.	230
Figura 7.22.- UVER para el caso del conductor en la época de mayo-junio.....	231
Figura 7.23.- UVER para el caso del pasajero en la época de mayo-junio	232
Figura 7.24.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el conductor en la época de mayo-junio	233
Figura 7.25.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el conductor en la época de mayo-junio.	234
Figura 7.26.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el conductor en la época de mayo-junio.	234

Figura 7.27.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el conductor en la época de mayo-junio.	235
Figura 7.28.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el pasajero en la época de mayo-junio.	236
Figura 7.29.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el pasajero en la época de mayo-junio.	237
Figura 7.30.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el pasajero en la época de mayo-junio.	237
Figura 7.31.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el pasajero en la época de mayo-junio.	238
Figura 7.32.- Dosis UVER en distintas posiciones en la época de julio-septiembre. .	246
Figura 7.33.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas cerradas en la época de julio-septiembre.	247
Figura 7.34.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas abiertas en la época de julio-septiembre.	247
Figura 7.35.- UVER para el caso del conductor en la época de julio-septiembre.	249
Figura 7.36.- UVER para el caso del pasajero en la época de julio-septiembre.	250
Figura 7.37.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el conductor en la época de julio-septiembre.	251
Figura 7.38.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el conductor en la época de julio-septiembre.	252
Figura 7.39.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el conductor en la época de julio-septiembre.	252
Figura 7.40.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el conductor en la época de julio-septiembre.	253
Figura 7.41.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el pasajero en la época de julio-septiembre.	254
Figura 7.42.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el pasajero en la época de julio-septiembre.	255
Figura 7.43.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el pasajero en la época de julio-septiembre.	255
Figura 7.44.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el pasajero en la época de julio-septiembre.	256
Figura 7.45.- Dosis UVER en distintas posiciones en la época de octubre-noviembre-diciembre.	263
Figura 7.46.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas cerradas en la época de octubre-noviembre-diciembre.	263
Figura 7.47.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas abiertas en la época de octubre-noviembre-diciembre.	264
Figura 7.48.- UVER para el caso del conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre.	265
Figura 7.49.- UVER para el caso del pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.	266
Figura 7.50.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre.	267
Figura 7.51.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre.	268
Figura 7.52.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre.	268

Figura 7.53.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre.....	269
Figura 7.54.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.	270
Figura 7.55.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.	271
Figura 7.56.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.	271
Figura 7.57.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.	272
Figura 7.58.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas cerradas / UVER al exterior para el conductor en diferentes posiciones y para cada época del año.	279
Figura 7.59.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas abiertas / UVER al exterior para el conductor en diferentes posiciones y para cada época del año.	280
Figura 7.60.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas cerradas / UVER con las ventanillas abiertas para el conductor en diferentes posiciones y para cada época del año.....	280
Figura 7.61.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas cerradas / UVER al exterior para el pasajero en diferentes posiciones y para cada época del año.	284
Figura 7.62.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas abiertas / UVER al exterior para el pasajero en diferentes posiciones y para cada época del año.	284
Figura 7.63.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas cerradas / UVER con las ventanillas abiertas para el pasajero en diferentes posiciones y para cada época del año.....	285

Índice de tablas

Tabla 2.1.- Definición de irradiancia, irradiación horaria e irradiación diaria.....	36
Tabla 2.2.- Ángulo cenital solar medio al mediodía para cada mes en la ciudad de Valencia.....	39
Tabla 2.3.- Identificación de fototipos de piel.....	48
Tabla 2.4.- Riesgo de daño a la piel en función del índice UV.....	50
Tabla 2.5. Valor de albedo de radiación global sobre algunas superficies.....	56
Tabla 4.1.- Características técnicas de los dosímetros empleados.....	74
Tabla 4.2.- Rango de medida de los dosímetros VioSpor Tipo I, II, III, IV, V y S.....	75
Tabla 4.3.- Características técnicas de los sensores empleados.....	79
Tabla 4.4.- Características técnicas del registrador de datos PMA2100.....	79
Tabla 4.5.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros en el caso de árboles.....	87
Tabla 4.6.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en el caso de árboles.....	91
Tabla 4.7.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros en el caso de muros verticales.....	98
Tabla 4.8.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en el caso de muros verticales.....	100
Tabla 4.9.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros en el caso de coches.....	108
Tabla 4.10.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en el caso de coches.....	110
Tabla 5.1.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para la época de febrero-marzo en el caso de árboles.....	114
Tabla 5.2.- Días de medida para cada posición en la época de febrero-marzo.....	114
Tabla 5.3.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para febrero-marzo.....	115
Tabla 5.4.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en febrero-marzo.....	116
Tabla 5.5.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de febrero-marzo.....	117
Tabla 5.6.- Horas totales de medida para febrero-marzo.....	120
Tabla 5.7.- Cantidad de radiación equivalente a 1 MED para cada fototipo de piel....	120
Tabla 5.8.- Tiempo hasta la aparición de eritema para la época de febrero-marzo.....	121
Tabla 5.9.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en la época de febrero-marzo-abril para el caso de árboles.....	122
Tabla 5.10.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para la época de mayo-junio en el caso de árboles.....	125
Tabla 5.11.- Días de medida para cada posición en la época de mayo-junio.....	125
Tabla 5.12.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para mayo-junio.....	126
Tabla 5.13.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en mayo-junio.....	127
Tabla 5.14.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de mayo-junio.....	128
Tabla 5.15.- Horas totales de medida para mayo-junio.....	129
Tabla 5.16.- Tiempo hasta la aparición de eritema para la época de mayo-junio.....	129
Tabla 5.17.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en la época de mayo-junio para el caso de árboles.....	130
Tabla 5.18.- Diferencias entre la exposición en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B respecto a pleno sol a las 10:00h y a las 13:30h. para la época de mayo-junio.....	131

Tabla 5.19.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros a la sombra de los árboles para la época de julio-septiembre	133
Tabla 5.20.- Días de medida para cada posición en la época de julio-septiembre para el caso de árboles.....	134
Tabla 5.21.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para julio-septiembre.	134
Tabla 5.22.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en julio-septiembre.....	135
Tabla 5.23.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de julio-septiembre.....	136
Tabla 5.24.- Horas totales de medida en la sombra de los árboles para julio-septiembre	138
Tabla 5.25.- Tiempo hasta la aparición de eritema para la época de julio-septiembre.	138
Tabla 5.26.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en la época de julio-septiembre para el caso de árboles.....	139
Tabla 5.27.- Diferencias entre la exposición en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B respecto a pleno sol a las 10:00h y a las 13:30h. para la época de julio-septiembre.....	140
Tabla 5.28.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para la época de octubre-noviembre-diciembre en el caso de árboles.	142
Tabla 5.29.- Días de medida para cada posición en la época de octubre-noviembre-diciembre.	142
Tabla 5.30.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para octubre-noviembre-diciembre.....	143
Tabla 5.31.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en octubre-noviembre-diciembre.	144
Tabla 5.32.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de octubre-noviembre-diciembre	145
Tabla 5.33.- Horas totales de medida para octubre-noviembre-diciembre.....	146
Tabla 5.34.- Tiempo hasta la aparición de eritema para la época de octubre-noviembre-diciembre	146
Tabla 5.35.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en la época de octubre-noviembre-diciembre para el caso de árboles	147
Tabla 5.36.- Valores de θ_H , ángulo de incidencia sobre superficie horizontal promedio entre los días de medida.....	150
Tabla 5.37.- Cociente de exposición UVER sombra / UVER a pleno sol para todas las épocas del año.....	151
Tabla 5.38.- FPUVER (UVER sol / UVER sombra)	153
Tabla 5.39.- Tiempo hasta la aparición de eritema en la piel para cada época del año en el caso de árboles.....	155
Tabla 6.1.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros en el caso de muros para la época de febrero-marzo.....	162
Tabla 6.2.- Días de medida para cada posición en la época de febrero-marzo	163
Tabla 6.3.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, frente a muro metálico y frente a muro de hormigón, para febrero-marzo.....	163
Tabla 6.4.- Cocientes de exposición en las posiciones frente a muro metálico comparado con sin muro, frente a muro metálico comparado con frente a muro de hormigón y frente a muro de hormigón comparado con sin muro y para las orientaciones horizontal y vertical en cada caso para la época de febrero-marzo	166
Tabla 6.5.- Tiempo de medida frente a muros y en la época de febrero-marzo.....	167
Tabla 6.6.- Tiempo hasta el eritema para las posiciones horizontal frente a muro metálico, vertical frente a muro metálico, horizontal frente a muro de hormigón,	

vertical frente a muro de hormigón, horizontal sin muro y vertical sin muro para la época de febrero-marzo	167
Tabla 6.7.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros frente a muros en la época de febrero-marzo-abril.....	169
Tabla 6.8.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros frente a muros para la época de mayo-junio.....	174
Tabla 6.9.- Días de medida para cada posición en la época de mayo y junio para el caso de muros	174
Tabla 6.10.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, frente e muro metálico y frente a muro de hormigón, para mayo-junio.	175
Tabla 6.11.- Cocientes de exposición en las posiciones frente a muro metálico comparado con sin muro, frente a muro metálico comparado con frente a muro de hormigón y frente a muro de hormigón comparado con sin muro y para las orientaciones horizontal y vertical en cada caso para la época de mayo-junio.	177
Tabla 6.12.- Tiempo de medida frente a muros y en la época de mayo-junio.	178
Tabla 6.13.- Tiempo hasta el eritema para las posiciones horizontal frente a muro metálico, vertical frente a muro metálico, horizontal frente a muro de hormigón, vertical frente a muro de hormigón, horizontal sin muro y vertical sin muro para la época de mayo-junio.....	178
Tabla 6.14.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros frente a muros para la época de julio-septiembre.	179
Tabla 6.15.- Días de medida para cada posición en la época de julio-septiembre.	180
Tabla 6.16.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, frente e muro metálico y frente a muro de hormigón, para julio-septiembre.	180
Tabla 6.17.- Cocientes de exposición en las posiciones frente a muro metálico comparado con sin muro, frente a muro metálico comparado con frente a muro de hormigón y frente a muro de hormigón comparado con sin muro y para las orientaciones horizontal y vertical en cada caso para la época de julio-septiembre.	182
Tabla 6.18.- Tiempo de medida frente a muros y en la época de julio-septiembre.....	184
Tabla 6.19.- Tiempo hasta el eritema para las posiciones horizontal frente a muro metálico, vertical frente a muro metálico, horizontal frente a muro de hormigón, vertical frente a muro de hormigón, horizontal sin muro y vertical sin muro para la época de julio-septiembre.	184
Tabla 6.20 Días de medida y condiciones climáticas para la medida frente a muros para la época de octubre-noviembre-diciembre	185
Tabla 6.21.- Dosímetros empleados en las medidas frente a muros para la época de octubre-noviembre-diciembre	185
Tabla 6.22.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, frente e muro metálico y frente a muro de hormigón, para octubre-noviembre-diciembre.....	186
Tabla 6.23.- Cocientes de exposición en las posiciones frente a muro metálico comparado con sin muro, frente a muro metálico comparado con frente a muro de hormigón y frente a muro de hormigón comparado con sin muro y para las orientaciones horizontal y vertical en cada caso para la época de octubre-noviembre-diciembre	188
Tabla 6.24.- Tiempo de medida frente a muros y en la época de octubre-noviembre-diciembre	189
Tabla 6.25.- Tiempo hasta el eritema para las posiciones horizontal frente a muro metálico, vertical frente a muro metálico, horizontal frente a muro de hormigón, vertical frente a muro de hormigón, horizontal sin muro y vertical sin muro para la época de octubre-noviembre-diciembre.	189

Tabla 6.26.- Día de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros del coeficiente de reflexión del muro metálico	190
Tabla 6.27.- Valores de θ_H , ángulo de incidencia sobre superficie horizontal promedio entre los días de medida y de θ_V , ángulo de incidencia sobre superficie vertical promedio entre los días de medida.	191
Tabla 6.28.- Cociente de exposición UVER (frente a muro) / UVER (sin muro) para todas las épocas del año.....	193
Tabla 6.29.- Tiempo hasta la aparición de eritema en la piel para cada época del año	200
Tabla 7.1.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para coches en la época de febrero-marzo.....	204
Tabla 7.2.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas cerradas para la época de febrero-marzo	204
Tabla 7.3.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas abiertas para la época de febrero-marzo	205
Tabla 7.4 Días de medida para cada posición en el caso de exterior del coche para la época de febrero-marzo	205
Tabla 7.5.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están cerradas para febrero-marzo	206
Tabla 7.6.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están abiertas para febrero-marzo	206
Tabla 7.7.- Valores absolutos de UVER a pleno sol para febrero-marzo	206
Tabla 7.8.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del conductor en la época de febrero-marzo.....	212
Tabla 7.9.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del pasajero en la época de febrero-marzo	215
Tabla 7.10.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de febrero-marzo	219
Tabla 7.11.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de febrero-marzo	219
Tabla 7.12.- Tiempo de medidas al exterior en la época de febrero-marzo	220
Tabla 7.13.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas cerradas para la época de febrero-marzo	220
Tabla 7.14.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas abiertas para la época de febrero-marzo	221
Tabla 7.15.- Tiempo hasta el eritema para dosímetro horizontal y vertical en el caso de medidas al exterior del coche para la época de febrero-marzo.....	221
Tabla 7.16.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en el interior del coche en la época de febrero-marzo.....	222
Tabla 7.17.- Días de medida y condiciones climáticas para la media con dosímetros para coches en la época de mayo-junio.	226
Tabla 7.18.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas cerradas para la época de mayo-junio.....	226
Tabla 7.19.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas abiertas para la época de mayo-junio.....	227
Tabla 7.20.- Días de medida para cada posición en el caso de exterior del coche para la época de mayo-junio.....	227

Tabla 7.21.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están cerradas para la época de mayo-junio.	228
Tabla 7.22.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están abiertas para la época de mayo-junio.	228
Tabla 7.23.- Valores absolutos de UVER a pleno sol en día de medida de coche con ventanillas cerradas la época de mayo-junio.	228
Tabla 7.24.- Valores absolutos de UVER a pleno sol en día de medida de coche con ventanillas abiertas la época de mayo-junio.	228
Tabla 7.25.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del conductor en la época de mayo-junio.	233
Tabla 7.26.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del pasajero en la época de mayo-junio.	236
Tabla 7.27.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de mayo-junio.	240
Tabla 7.28.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de mayo-junio.	240
Tabla 7.29.- Tiempo de medidas al exterior en la época de mayo-junio.	241
Tabla 7.30.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas cerradas para la época de mayo-junio.	241
Tabla 7.31.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas abiertas para la época de mayo-junio.	242
Tabla 7.32.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de medidas al exterior del coche para la época de mayo-junio.	242
Tabla 7.33.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para coches en la época de julio-septiembre.	243
Tabla 7.34.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas cerradas para la época de julio-septiembre.	244
Tabla 7.35.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas abiertas para la época de julio-septiembre.	244
Tabla 7.36.- Días de medida para cada posición en el caso de exterior del coche para la época de julio-septiembre.	244
Tabla 7.37.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están cerradas para la época de julio-septiembre.	245
Tabla 7.38.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están abiertas para la época de julio-septiembre.	245
Tabla 7.39.- Valores absolutos de UVER a pleno sol en día de medida de coche con ventanillas cerradas la época de julio-septiembre.	245
Tabla 7.40.- Valores absolutos de UVER a pleno sol en día de medida de coche con ventanillas abiertas la época de julio-septiembre.	246
Tabla 7.41.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del conductor en la época de julio-septiembre.	251

Tabla 7.42.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del pasajero en la época de julio-septiembre.	254
Tabla 7.43.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de julio-septiembre.	257
Tabla 7.44.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de julio-septiembre.	257
Tabla 7.45.- Tiempo de medidas al exterior en la época de julio-septiembre.	257
Tabla 7.46.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas cerradas para la época de julio-septiembre.	258
Tabla 7.47.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas abiertas para la época de julio-septiembre.	258
Tabla 7.48.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de medidas al exterior del coche para la época de julio-septiembre.	259
Tabla 7.49.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para coches en la época de octubre-noviembre-diciembre.	260
Tabla 7.50.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas cerradas para la época de octubre-noviembre-diciembre.	260
Tabla 7.51.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas abiertas para la época de octubre-noviembre-diciembre.	261
Tabla 7.52.- Días de medida para cada posición en el caso de exterior del coche para la época de octubre-noviembre-diciembre.	261
Tabla 7.53.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están cerradas para octubre-noviembre-diciembre.	261
Tabla 7.54.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están abiertas para octubre-noviembre-diciembre.	262
Tabla 7.55.- Valores absolutos de UVER a pleno sol y en día de medida con las ventanillas cerradas para octubre-noviembre-diciembre.	262
Tabla 7.56.- Valores absolutos de UVER a pleno sol y en día de medida con las ventanillas abiertas para octubre-noviembre-diciembre.	262
Tabla 7.57.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre.	267
Tabla 7.58.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.	270
Tabla 7.59.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de octubre-noviembre-diciembre.	273
Tabla 7.60.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de octubre-noviembre-diciembre.	273
Tabla 7.61.- Tiempo de medidas al exterior en la época de octubre-noviembre-diciembre.	274
Tabla 7.62.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas cerradas para la época de octubre-noviembre-diciembre.	274

Tabla 7.63.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas abiertas para la época de octubre-noviembre-diciembre.....	275
Tabla 7.64.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de medidas al exterior del coche para la época de octubre-noviembre-diciembre.....	275
Tabla 7.65.- Valores de θ_H , ángulo de incidencia sobre superficie horizontal promedio entre los días de medida y de θ_V , ángulo de incidencia sobre superficie vertical promedio entre los días de medida.	276
Tabla 7.66 Cocientes de exposición para todas las épocas del año.....	278
Tabla 7.67.- Tiempo hasta la aparición de eritema en la piel para cada época del año	287

INTRODUCCIÓN

La existencia de la vida en la Tierra depende de un modo fundamental de la radiación solar y, en particular, de la cantidad de radiación ultravioleta que incide sobre los seres vivos. Aunque sólo representa un 8,3% del espectro solar extraterrestre (Stamnes, 1993) y un 5% de la radiación que llega a la superficie de la Tierra, la componente ultravioleta juega un papel muy importante en varios procesos de la biosfera pues, es biológicamente muy activa y posee, no sólo varios efectos beneficiosos, sino que, si se exceden ciertos límites de seguridad, también puede resultar muy perjudicial para animales, plantas y seres humanos (Grant and Heisler, 1997).

Concretamente, en el caso de los seres humanos, una exposición continuada a valores altos de radiación ultravioleta puede derivar en envejecimiento prematuro de la piel, aparición de arrugas y posibilidad de padecimiento de enfermedades como cataratas oculares o cáncer de piel. Además, los materiales utilizados en construcción, las pinturas, los envases y muchas otras sustancias son degradados por la radiación ultravioleta, siendo los plásticos al aire libre los más afectados.

Estos motivos justifican la creciente demanda de investigación sobre la radiación ultravioleta. Así, el conocimiento claro de su disponibilidad y de su variación, tanto temporal como espacial, incide de forma muy importante en muchas áreas de investigación:

- Desarrollo y modificación de ecosistemas (Bothwell, 1994).
- Formación y descomposición de contaminantes urbanos e industriales fotosensibles (Nader, 1969; Shettle, 1972; Riordan et al., 1990; Vidal et al., 1994).
- Incidencia en cánceres de piel y cataratas (Ellison et al., 1981; Pérez López et al., 1993).
- Fotodescomposición de herbicidas empleados usualmente (Vidal et al., 1994).
- Fotodegradación de plásticos, colorantes, pinturas y fibras naturales y sintéticas (Davis et al., 1983; Gerlock and Bauer, 1995).
- Funcionamiento correcto de los simuladores solares usados en estudios de degradaciones aceleradas en función de distintos comportamientos climáticos de la radiación (Crommelynk and Joukoff, 1990; Delre and Willer, 1995).
- La influencia en el cambio climático mundial (Hetah, 1988; Toumi et al., 1994).

A pesar de la importancia en tantos campos científicos y tecnológicos y del problema de la reducción de la concentración estratosférica de ozono, la red mundial de medidas de la radiación ultravioleta es muy escasa (Kudish, 1993), especialmente en la región mediterránea, a pesar de que debido al elevado número de horas de sol que se registran a lo largo del año la radiación ultravioleta es extremadamente importante para sus habitantes. Esta carencia en cuanto al número de medidas registradas, se puede

justificar por el relativamente elevado coste de la instrumentación requerida para monitorizar la radiación ultravioleta terrestre (Gardiner, 1997).

Si en lugar de hablar de la radiación ultravioleta en general, nos centramos en el análisis de la radiación ultravioleta que puede afectar a los humanos, como puede ser la radiación ultravioleta B o la ultravioleta eritemática, esta carencia de datos es aún más acusada (Gurrea, Cañada, 2007).

La exposición personal a la radiación solar UV es debida a la radiación solar recibida como directa, difusa, reflejada y radiación filtrada.

La radiación difusa se refiere a la radiación UV que ha resultado dispersada y reflejada por la atmósfera, por medio de las nubes, o bien por el medioambiente físico, como por ejemplo la nieve. Se debe a la interacción de la radiación con moléculas y aerosoles suspendidos en el aire.

La radiación reflejada es aquella que tras llegar a la superficie, se refleja en las estructuras que envuelven la zona hasta alcanzar el lugar del observador.

La radiación filtrada, por su parte se refiere a la radiación UV que sigue presente después de atravesar algún material, como por ejemplo un cristal, o algún tipo de material transparente a ciertas longitudes de onda.

Existe muy poca información disponible respecto a la radiación difusa y filtrada y las resultantes exposiciones que reciben las personas. La incidencia de los cánceres de piel y otro tipo de enfermedades oculares puede ser reducida mediante la minimización de las exposiciones a la radiación solar UV. Sin embargo, también es cierto que existe un beneficio importante de la radiación solar UV que recibimos, de hecho es fundamental para la producción de la vitamina D. Es por ello que un mayor conocimiento de la exposición UV de las personas en condiciones variadas y en ambientes diversos, es fundamental.

A lo largo de esta tesis se analizarán las diferencias entre la radiación directa y la radiación difusa recibidas en diferentes condiciones como en la sombra de un árbol, frente a un muro vertical o en el interior de un coche y se comprobará la importancia que estas componentes tienen sobre la exposición de los humanos a la radiación UV.

Capítulo1. MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO

En este capítulo se revisan los motivos que han llevado a la realización del presente estudio, analizando las tres barreras físicas que se han seleccionado para analizar su efecto sobre la dosis de radiación UVER (UVB eritemática) recibida por las personas: los árboles, los muros verticales y los vehículos. La dosis de radiación ultravioleta eritemática recibida por las personas puede verse afectada por la presencia de este tipo de barreras físicas, atenuando o en algunos casos intensificando la exposición total acumulada por una persona. Resulta fundamental conocer como varía la dosis recibida de cara a tomar las estrategias oportunas de cara a la protección frente a la exposición excesiva.

1.1.- CASO I: INFLUENCIA DE LOS ÁRBOLES SOBRE LA UVER

La radiación solar ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra tiene muchas implicaciones para la salud humana. Parte de estas implicaciones dependen de las condiciones ambientales, así como de los hábitos de los seres humanos (Grant and Gordon, 2005).

Hay mucha gente que no vive en campos abiertos pero que residen y/o trabajan en ambientes donde hay una importante obstrucción del cielo y de la componente directa de la radiación solar, debido a la presencia de edificios y vegetación.

Cuando una persona trata de protegerse del sol bajo la sombra de un árbol, inmediatamente encuentra, con esta estrategia, una sensación de confort, debido a que súbitamente la temperatura a la que se encuentra desciende unos grados por efecto de la sombra del árbol. Sin embargo, esta sensación puede crear, en las personas, una falsa sensación de seguridad frente a la radiación y así prolongar el tiempo de exposición o quizá no emplear otro tipo de estrategias de protección frente a la misma.

Hay que tener en cuenta que la radiación recibida bajo la sombra de un árbol tiene un elevado porcentaje de componente difusa. Esta componente puede tener como consecuencia un exceso de exposición a la radiación que puede afectar negativamente a zonas como los ojos o la cara (Parisi, 2004)

El índice UV proporciona información sobre el máximo valor de radiación eritemática sobre plano horizontal para un día a pleno sol. Sin embargo, es necesario que exista también información sobre la dosis recibida en otras condiciones como, por ejemplo, a la sombra de un árbol.

Los estudios demuestran que la protección que ofrecen las sombras de los árboles reducen las exposiciones a la radiación biológicamente dañina para los humanos. Es por ello que esta estrategia debe seguir siendo utilizada como modo de minimizar la exposición a la radiación solar; sin embargo, es necesario concienciar a la población de que esta estrategia no nos proporciona una protección total y que es necesario emplear estrategias adicionales para la protección frente a la radiación si se van a pasar tiempos prolongados bajo la sombra de un árbol.

Además, la protección que pueda ofrecernos la sombra de un árbol, depende en gran medida de la densidad de la copa del árbol, de la época del año e incluso del momento del día.

1.2.- CASO II: INFLUENCIA DE LOS MUROS VERTICALES SOBRE LA UVER

La presencia de edificios contribuye a la dispersión de la radiación UV y como consecuencia, influye en la exposición de las personas a la dicha radiación.

La exposición a radiación UV de personas envueltas en actividades al exterior, está afectada por las estructuras que les rodean en los ambientes urbanos. De hecho, la exposición UV es susceptible de verse incrementada debido a los efectos de las estructuras envolventes.

Los tiempos de exposición de las personas deberían ser ajustados en función de la proximidad de los individuos a los edificios o estructuras urbanas.

Desde que la mayor parte de la población vive dentro o muy cerca de los ambientes urbanos, la proximidad de las personas a las estructuras verticales es un hecho cotidiano que les afecta a través de factores como la reflectancia de las superficies sólidas o la sombra que proporcionan dichas estructuras.

Para los trabajadores que no pueden restringir su tiempo de exposición, es especialmente importante el conocimiento y la puesta en práctica de medidas preventivas contra la radiación UV.

Para evaluar la radiación UV dispersada por un muro vertical, es necesario efectuar las medidas en una posición perpendicular al muro. La radiación así medida, debe ser comparada con la que se mide en un plano horizontal sin obstrucción, de forma que se pueda calcular el porcentaje de radiación UV dispersada por el muro.

1.3.- CASO III: INFLUENCIA DE LAS VENTANILLAS DE LOS VEHÍCULOS SOBRE LA UVER

Los cambios en el comportamiento y la actividad de las personas en las sociedades modernas de hoy en día, han alterado los modelos de exposiciones a la radiación UV en las personas.

Además de las personas que trabajan al exterior, hemos pasado de un estilo de vida basado en la actividad agrícola, a un modo de vida predominantemente al interior, en el que solo gozamos de momentos al aire libre durante los descansos del trabajo o nuestro tiempo libre.

Además de la exposición UV en las actividades al aire libre, hay exposiciones UV resultantes de la radiación UV filtrada a través de las ventanas de vidrio. La estructura de nuestras ciudades esta derivando en comunidades de vecinos ubicadas a cierta distancia de los centros de trabajo en las grandes ciudades. Estas distancias desde casa hasta el trabajo, se suelen cubrir en vehículos de motor u otras formas de transporte público que pueden traducirse en exposiciones solares a la radiación UV.

Las campañas de Salud Publica alertan a la población del peligro de pasar demasiado tiempo en el sol; sin embargo hay un hueco de conocimiento en la exposición UV de los individuos durante las que se consideran “actividades de bajo riesgo UV”, como por ejemplo conducir un coche.

Esto es importante en países como España, donde las distancias entre los centros de trabajo y los lugares de residencia pueden ir asociadas con numerosas horas al día conduciendo un vehículo.

Los automóviles forman hoy en día parte de nuestra sociedad, ya sea como medio de transporte para acudir a los centros de trabajo o como parte de nuestra actividad de ocio y tiempo libre.

Hay una parte del diseño del coche, que son los vidrios de las ventanillas, que están concebidos para permitir la visibilidad y por cuestiones de diseño. Nuestra presencia en el interior de los vehículos bajo la influencia de este tipo de estructuras es parte de nuestro modo de vida, sin embargo existen muy pocas referencias de la exposición potencial que puede recibir una persona cuando se encuentra en este tipo de ambiente.

Capítulo 2. CONCEPTOS TEÓRICOS

En el presente capítulo se repasan algunos conceptos fundamentales sobre radiación solar. Se describen los procesos que afectan a la radiación a su paso por la atmósfera y se definen las magnitudes más importantes que se emplearán a lo largo del estudio. Además, se analiza la parte del espectro solar correspondiente a la radiación ultravioleta, caracterizándola y describiendo conceptos importantes referentes a su influencia sobre los seres vivos, como la función de ponderación y la radiación ultravioleta eritemática. También se comentan las unidades de medida de dosis de radiación que se emplearán en el presente estudio.

2.1.- LA CONSTANTE SOLAR

La actividad del Sol origina radiaciones electromagnéticas, la mayor parte de ellas en longitudes de onda comprendidas entre los $0.1 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$, con una variación espectral prácticamente invariable a lo largo del tiempo.

Estas radiaciones electromagnéticas son las causantes de la iluminación de la Tierra, del calentamiento de nuestro planeta y de aportar la energía suficiente para el desarrollo de la vida.

El Sol es una estrella con forma esférica, de diámetro $1.39 \times 10^9 \text{ m}$, en cuyo interior se desarrollan complejas reacciones de fusión. Sus componentes son, principalmente, hidrógeno y helio que se hallan en estado gaseoso y de plasma y que alcanzan en la zona central del Sol temperaturas del orden de los 10^6 K .

Se define la constante solar (G_{SC}) como la cantidad de energía por unidad de tiempo que atraviesa la superficie situada perpendicularmente a los rayos solares en el exterior de la atmósfera terrestre y a la distancia media entre el Sol y la Tierra. Se mide en W/m^2 por lo tanto es una medida de potencia superficial. El valor aceptado de esta constante hoy en día, como se aprecia en la figura 2.1, es de 1367 W/m^2 .

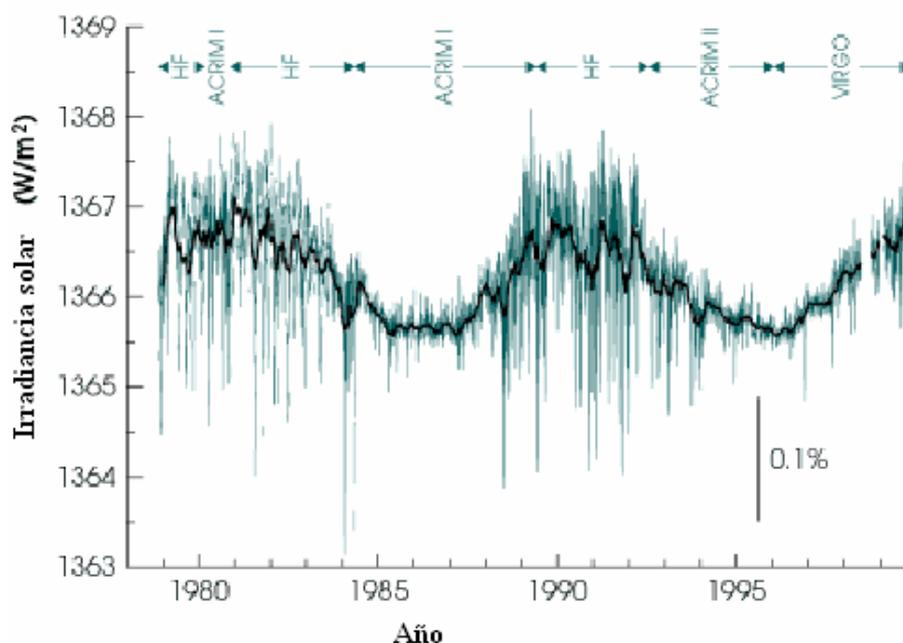


Figura 2.1. La constante solar (<http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0313irradiance.html>)

2.2.- PASO DE LA RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA

Antes de alcanzar cualquier punto de la superficie de la Tierra, la radiación solar ha de atravesar la atmósfera terrestre, en la que se ve sometida a un proceso de atenuación dependiente de la longitud del camino recorrido. Este proceso viene determinado por la altura y posición del Sol, y también con notable influencia de las variaciones de la composición atmosférica.

En general, se pueden esquematizar los fenómenos de interacción de la radiación con la atmósfera como se indica en la figura 2.2. En ella se observa que, a un determinado lugar de la superficie terrestre, la radiación solar llega tanto en forma de radiación **directa**, que no ha sufrido modificación en su dirección desde el Sol, como de radiación **difusa**, procedente de todas las direcciones de la semiesfera celeste por encima del plano horizontal, así como de radiación **reflejada** por el suelo.

El primer paso necesario para el estudio de la interacción de la radiación solar con la atmósfera terrestre, es el conocimiento de la composición de ésta, primero en ausencia de nubes y posteriormente analizando el efecto de la contribución de las mismas.

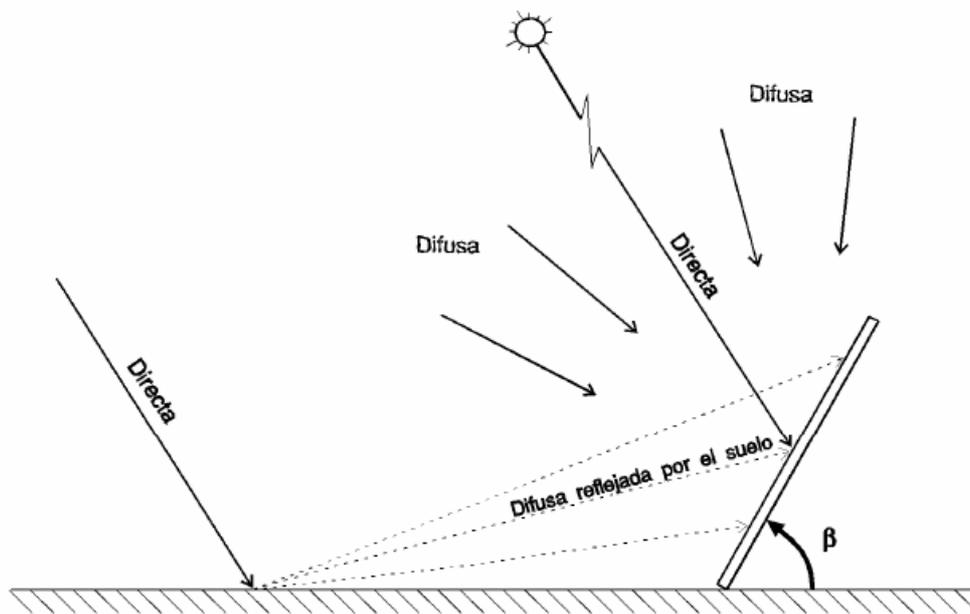


Figura 2.2. Recorrido de la radiación solar hasta llegar a la superficie terrestre. (Valeriano Ruiz, Apuntes de radiación solar).

2.2.1.- Composición de la atmósfera terrestre.

La estructura vertical de la atmósfera terrestre, ha sido descrita desde comienzos de este siglo a través del concepto de atmósfera estándar. En realidad, esta composición varía de forma importante tanto en tiempo como en espacio en lo que respecta al vapor de agua, dióxido de carbono, ozono, monóxido de carbono y metano.

Desde el punto de vista de la atenuación de la radiación solar, los componentes atmosféricos más influyentes son: las moléculas de aire, de ozono, de dióxido de carbono, vapor de agua, y aerosoles (componentes no gaseosos), estos últimos de importancia destacable. A continuación se realiza un breve repaso de cada uno de ellos.

- **Ozono.**

El contenido de ozono se mide por el denominado espesor normal de ozono, que se define, como su propio nombre indica, como el espesor que se alcanzaría si todo el ozono de una columna vertical de área unidad estuviera en condiciones normales de presión y temperatura (condiciones NTP). Se suele representar en cm. ó mm y su valor habitual está comprendido entre 2 y 5 mm. Aunque varía según el lugar y la época del año, su efecto en la atenuación de radiación solar es, sin embargo, poco variable, aunque muy importante, porque afecta a la parte ultravioleta del espectro que es la de mayor intensidad energética. La incidencia sobre los seres vivos es, por tanto, muy crítica.

Se trata de un componente sensible a la presencia, en las capas altas de la atmósfera, de moléculas halogenadas originadas en la actividad humana.

- **Vapor de agua.**

El contenido de vapor de agua viene determinado por un parámetro de significado similar al definido para el ozono. En muchas publicaciones, se le suele denominar agua precipitable; en otros trabajos, se sugiere otro nombre que representa mejor su auténtico significado: espesor de agua condensable, y que se define como el espesor de la capa de agua líquida que se tendría, a nivel de suelo, condensando todo el vapor de agua contenido en una columna vertical de área unidad y altura la de la atmósfera. Se suele expresar en cm. y está en el orden de magnitud de 3,5 cm.

- **Aerosoles.**

Los aerosoles son pequeñas partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire cuyos tamaños están comprendidos entre 10^{-3} y 10^2 micrómetros de radio. El contenido de aerosoles de la atmósfera se mide en número de partículas por unidad de volumen, en términos de turbidez atmosférica o mediante el parámetro óptico conocido por visibilidad.

Los aerosoles pueden ser de procedencia terrestre (humos, polen, cenizas de erupciones volcánicas, incendios forestales, combustión de carbón, polvo, arena de tormentas, etc.) o de procedencia marina (cristales de sal, núcleos de sales higroscópicas en los que condensa el agua, "ocean sprays").

2.2.2.- Recorrido óptico atmosférico.

Cuando la radiación solar atraviesa la atmósfera, cada molécula (o partícula en el caso de aerosoles) que la compone, atenúa parte de la energía asociada a dicha radiación. Esta atenuación es función del tipo y número de moléculas presentes en el camino de los rayos solares.

En consonancia con esto, se define para cada tipo de componente atmosférico, lo que se denomina **masa óptica** (figura 2.3). Este parámetro no es más que una integración a lo largo del camino recorrido por un rayo solar, de la densidad del componente de que se trate (ozono, moléculas de aire, vapor de agua, etc.), y representa por tanto, la masa de sustancia contenida en ese camino. Generalmente la masa óptica se

define en relación al camino óptico vertical en dirección cenital (cuando el Sol está en el cenit) y en un lugar situado a nivel del mar. Este recorrido óptico unidad, se corresponde con una columna vertical de 1 cm^2 de sección desde la altura 0 (nivel del mar) hasta el límite superior de la atmósfera. Si ésta fuese homogénea y estuviese en condiciones normales de presión y temperatura, la altura de esta columna sería de unos 8 km aproximadamente. A partir de estas consideraciones, la masa óptica relativa se puede determinar como el producto de la densidad del componente en cuestión (ρ) y el camino que recorren los rayos (ds), como muestra la ecuación 2.1.

$$m = \int \rho ds \quad (2.1)$$

Para alturas solares próximas a 90° y suponiendo una atmósfera plana no refractaria y completamente homogénea, se tendría la aproximación de la ecuación 2.2.

$$m_r = \frac{1}{\text{sen}\alpha} \quad (2.2)$$

Esta expresión, aunque ampliamente utilizada, no es exacta debido a la influencia de la curvatura terrestre y a la refracción atmosférica. El error es del 0.25% con valores del ángulo cenital del orden de 60° , pasando al 10% si este ángulo aumenta en torno a los 85° . Una expresión más general, debida a Kasten para el caso de atmósfera estándar, viene dada por la ecuación 2.3.

$$m_r = \frac{1}{\text{sen}\alpha + 0.15(3.885 + \alpha)^{-1.253}} \quad (2.3)$$

expresándose α (altura solar) en grados.

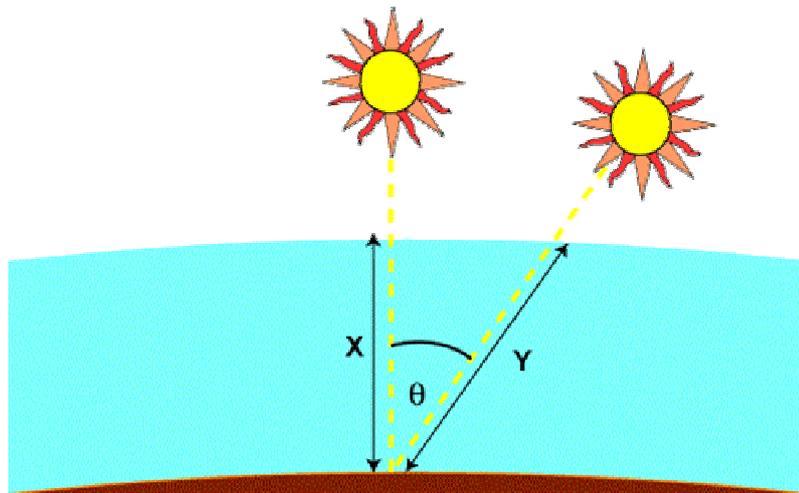


Figura 2.3. Masa óptica de aire (<http://pvcldrom.pveducation.org/SUNLIGHT/Images/AM.GIF>).

La radiación solar, en su camino hacia la superficie terrestre, sufre dos tipos de interacción:

-Absorción

-Dispersión

2.2.3.- Absorción de la radiación solar

La energía solar, al atravesar la atmósfera, es parcialmente absorbida por los constituyentes atmosféricos, produciendo un aumento de la energía interna de los mismos, y por lo tanto un aumento de su temperatura. Estos procesos de absorción por los componentes, son selectivos, en función de la longitud de onda.

Las sustancias absorbedoras son todos los gases y partículas que contiene el aire, como se muestra en la figura 2.4.

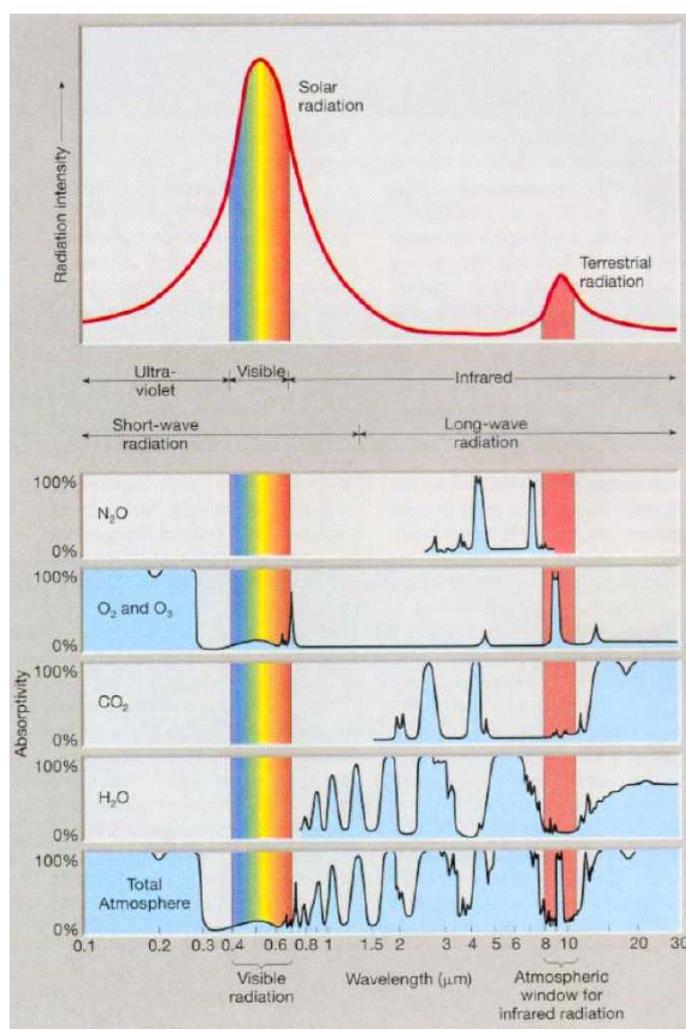


Figura 2.4. Espectro de absorción de los diferentes constituyentes atmosféricos. (www.meteored.com)

(la línea continua muestra el espectro de radiación de la superficie terrestre $T=288$ K en el rango de 2 a 20 micrómetros; las barras indican las bandas en donde los constituyentes atmosféricos son importantes absorbentes de la radiación terrestre.)

Se puede observar que existe un vacío de absorción en la franja comprendida entre los 300 y 700 nm. Esto explica por qué esta radiación se denomina luz visible debido al hecho de que la atmósfera es transparente a la radiación solar entrante y así la radiación solar visible llega a la Tierra.

El vapor de agua es el componente que mayor poder absorbente tiene para la radiación global (Iqbal, 1983); en concreto presenta tres bandas de absorción en el infrarrojo (en 1000, 1400 y 1800 nm) y otra para longitudes de onda inferiores a 200 nm aunque de menor importancia.

La capa de ozono representa un importante absorbente de la radiación ultravioleta. Presenta tres bandas principales de absorción: las de Hartley entre 210 y 300 nm, Huggins entre 300 y 340 nm y Chappuis entre 440 y 640 nm.

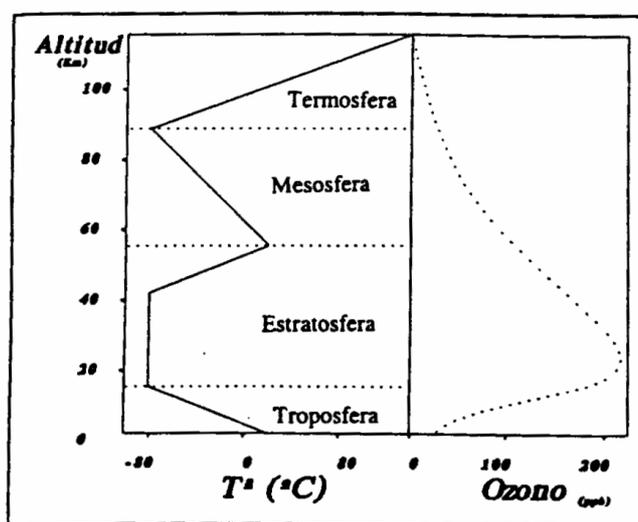


Figura 2.5. Variaciones de temperatura y concentraciones de ozono en las principales capas atmosféricas. (Pérez López et al., 1993)

También los aerosoles producen absorción de la radiación, si bien lo hacen de una forma menos selectiva.

En cuanto al Nitrógeno y el Oxígeno, su papel como absorbentes está limitado a una pequeña franja en el espectro electromagnético. El Nitrógeno presenta su banda de absorción más fuerte cerca de los 100 nm, mientras que el oxígeno presenta bandas de absorción para radiación inferior a 100 nm, entre 120 y 200 nm y entre 200 y 260 nm.

2.2.4 Dispersión de la radiación solar.

Es el proceso por el cual una partícula interpuesta en el camino de una onda electromagnética sustrae energía de la dirección incidente y la reemite en todas las direcciones. Es un proceso mucho más complicado de evaluar que la absorción (De Luisa, 1997) ya que mientras que en aquella, una fracción de energía es sustraída de la radiación directa incidente, la dispersión redirige la radiación incidente en otras direcciones del espacio.

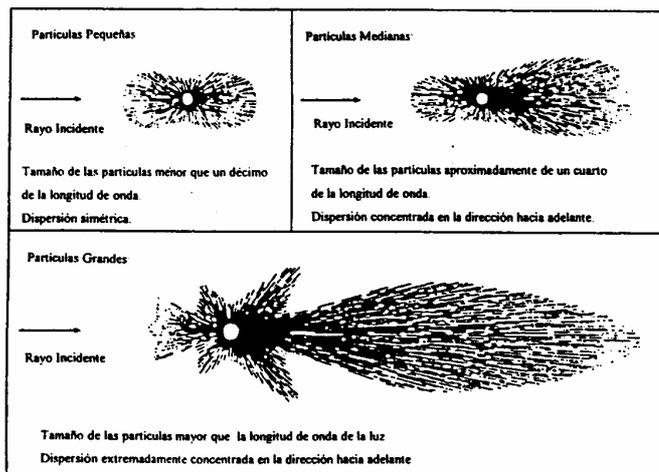


Figura 2.6. Dispersión para distintos tamaños de partículas (De Luisa, 1997).

Según sea el tamaño del objeto dispersante (menor que la longitud de onda de la radiación incidente o de un orden similar) la dispersión predomina en unas direcciones o en otras (figura 2.6). La dispersión se puede llevar a cabo por moléculas y por partículas. La dispersión por moléculas (tamaños inferiores a 0.33λ , siendo λ la longitud de onda de la radiación incidente) viene dada por la ley de **Rayleigh**, según la cual, la dispersión por moléculas es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda. Para partículas de gran tamaño (polvo, aerosoles, gotas de agua y partículas cuya longitud de onda es comparable a la de la radiación incidente) se acepta hoy en día la teoría fruto de las investigaciones de **Mie**, que se basa en series matemáticas el primer término de las cuales equivale a la dispersión de Rayleigh.

Por lo tanto, según la relación entre el tamaño de la longitud de onda de la radiación incidente y las partículas del medio, es posible dividir el fenómeno de dispersión en tres regímenes (Martínez, 2007).

- dispersión Rayleigh: tiene lugar cuando la longitud de onda de la radiación incidente es mucho mayor que el tamaño de las partículas difusoras. En este caso, el grado de dispersión es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda. Así, radiaciones de longitudes de onda corta sufrirán mayor dispersión que las radiaciones de onda larga. De este modo, la radiación UV incidente en superficie está compuesta, prácticamente al 50 % por la suma de la radiación UV directa y difusa, dependiendo este porcentaje de las condiciones atmosféricas (Parisi et. al., 2000).

- dispersión Mie: ocurre cuando las partículas difusoras son del mismo orden de tamaño que la longitud de onda de la radiación incidente. Este régimen de dispersión normalmente se produce en las capas bajas de la atmósfera, debido a la naturaleza de las partículas que lo originan: gotas de agua, partículas de polvo, humo, etc.. La dispersión Mie presenta una dependencia compleja con relación al tamaño de la partícula dispersora y a la longitud de onda de la radiación incidente.

- óptica geométrica: sucede cuando la longitud de onda de la radiación solar incidente es mucho menor que el tamaño de los obstáculos que se encuentra en su propagación. Este régimen de dispersión no depende de la longitud de onda de la radiación incidente, estando gobernado por dos leyes generales: las leyes de reflexión y refracción de la luz. La óptica geométrica utiliza la aproximación del rayo luminoso, permitiendo así despreciar los efectos derivados del fenómeno de difracción.

El cálculo de la energía dispersada por los aerosoles es bastante complejo, en parte por la dificultad que presenta el hecho de diferenciar los procesos de absorción y dispersión de la radiación solar debido a los mismos. Ångström propuso, reuniendo en un mismo término ambos efectos, la ecuación 2.4 para el cálculo del espesor óptico normal de los aerosoles $\delta_{a\lambda}$ conocida como la fórmula de **turbiedad de Ångström**:

$$\delta_{a\lambda} = \beta\lambda^{-\alpha} \quad (2.4)$$

siendo λ la longitud de onda de la radiación incidente en μm , y β es el denominado coeficiente de turbiedad de Ångström, que es función de la cantidad de aerosoles presentes en la atmósfera en la dirección vertical. El parámetro α corresponde al tamaño de los aerosoles y oscila entre 4 (pequeñas partículas como moléculas de aire) y 0 (partículas más grandes). En ausencia de medidas se toma el valor de α como 1,3.

A partir de lo anterior, se puede obtener la transmitancia debida a los aerosoles como se indica en la expresión 2.5:

$$\tau_{a\lambda} = e^{-(\beta\lambda^{-\alpha}m_a)} \quad (2.5)$$

Así, para longitudes de onda menores a 1000 nm, las partículas de menor tamaño transmiten menos energía que las grandes. Sin embargo para longitudes de onda superiores a los 1000 nm ocurre justo lo contrario.

2.3.- DEFINICIONES

A continuación se revisan algunas definiciones fundamentales a la hora de estudiar la radiación solar (tabla 2.1).

- **Irradiancia**: es la energía incidente sobre la unidad de superficie en la unidad de tiempo. De alguna manera, se puede hablar de potencia superficial y se representa por la letra **G** y la unidad normalmente empleada es el W/m^2 .

- **Irradiación:** es la energía recibida por unidad de superficie durante un período de tiempo determinado y se obtiene integrando el valor de la irradiancia a lo largo de dicho período de tiempo. Si el período de tiempo es una hora se representa por el símbolo **I**, si dicho período es de un día, se representa por la letra **H**. La unidad de medida empleada habitualmente es el J/m^2 o múltiplos de esta unidad.

Tabla 2.1.- Definición de irradiancia, irradiación horaria e irradiación diaria.

Irradiancia (W/m^2)	Irradiación horaria (J/m^2)	Irradiación diaria (J/m^2)
$G = \frac{Potencia}{Superficie}$	$I = \frac{Energía}{Superficie} = \int_{1hora} Gdt$	$H = \frac{Energía}{Superficie} = \int_{1día} Gdt$

A nivel terrestre, como se ha mencionado anteriormente, existen tres componentes de la radiación solar incidente:

- **Componente directa:** radiación que no ha sido interferida por la atmósfera terrestre y que tiene una dirección perfectamente definida por la hipotética línea que une la Tierra y el Sol. Es la que produce sombras.
- **Componente difusa:** radiación solar que ha sufrido procesos de dispersión por los componentes de la atmósfera y proviene de todos los puntos de la bóveda celeste. Es la radiación existente en un día cubierto.
- **Componente reflejada:** es aquella radiación directa y difusa, que una vez ha sido reflejada por la Tierra u obstáculos circundantes, incide sobre la superficie en cuestión.

Para calcular la irradiación solar que llega a una superficie horizontal sobre la superficie de la Tierra, es necesario escribir las relaciones trigonométricas entre la posición del sol en el cielo y las coordenadas (ecuatoriales) sobre la Tierra.

Por ejemplo, se puede describir a un observador ubicado en la Tierra dibujando una esfera celestial con la Tierra como centro. En cualquier momento, un observador sobre la superficie de la Tierra tiene una posición correspondiente en la esfera celestial llamada el **cenit** del observador; este es el punto de intersección con la esfera celestial de una normal a la superficie de la Tierra en la posición del observador. El punto diagonalmente opuesto al cenit local es el llamado **nadir**.

El **horizonte del observador** es un gran círculo dentro de la esfera celestial en cuyo centro está la Tierra y que es atravesado normalmente por la línea que une el centro de ésta y el cenit del observador.

El cenit o **ángulo cenital** θ_z es el ángulo entre el cenit local y la línea que une al observador y el Sol. Este es un ángulo que varía entre 0° y 90° . La altura solar α (también llamada elevación solar) es la **altura angular** del sol sobre el horizonte celestial del observador. Este es un ángulo que varía entre 0° y 90° . La altura solar es el complemento del ángulo cenital.

El **azimut solar** ψ es el ángulo, en el cenit local, entre el plano del meridiano del observador y el plano de un gran círculo que pasa por el cenit y el Sol. Es medido hacia el este positivamente, oeste negativamente, (sur=cero) y de este modo varía entre 0° y $\pm 180^\circ$. El **ángulo horario** ω , es el ángulo medido en el polo celestial entre el meridiano del observador y el meridiano del Sol. Contado desde el mediodía, cambia 15° por hora.

La **declinación**, δ , es una magnitud variable que se define como el ángulo que forma la línea que une los centros de la Tierra y el Sol con el plano ecuatorial terrestre.

En la figura 2.7 y 2.8 se aclaran los conceptos anteriores:

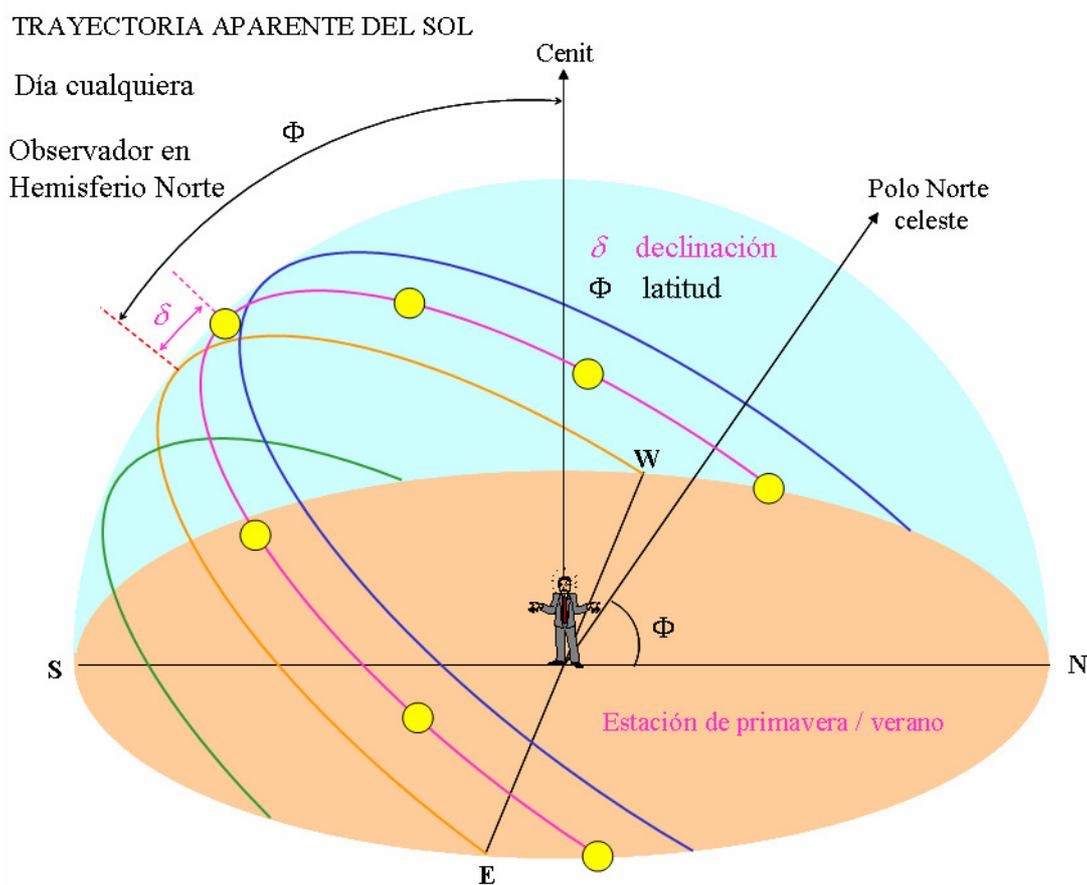


Figura 2.7.- Trayectoria del sol un día cualquiera de la época de primavera con referencia a coordenadas horizontales (Calera, Barbero, UCLM)

POSICIÓN DEL SOL RESPECTO A SUPERFICIES HORIZONTALES

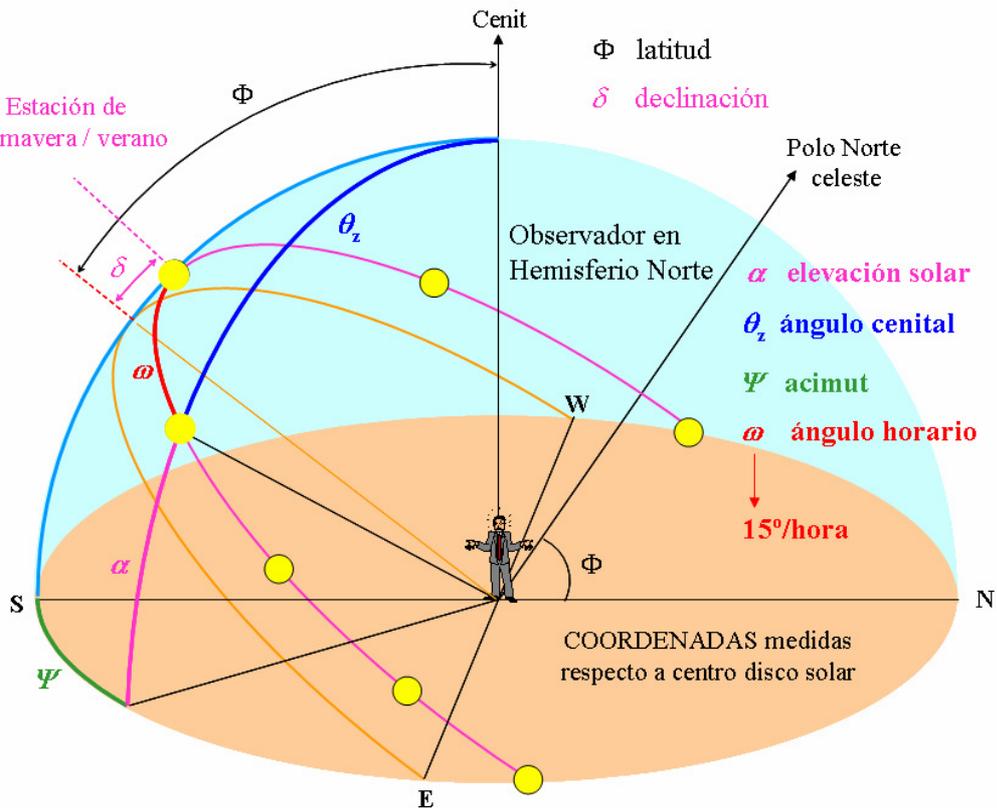


Figura 2.8.- Coordenadas angulares solares (Calera, Barbero, UCLM)

En cuanto a la geometría solar, también conviene definir los siguientes parámetros:

- **Ángulo de incidencia:** es el ángulo entre la dirección de los rayos solares y la perpendicular a la superficie. Si se trata de una superficie horizontal, este ángulo es el ángulo cenital θ_z y su complementario, la altura solar h .
- **Acimut de la superficie:** es el ángulo comprendido entre la línea hipotética Norte- Sur (meridiano local) y la proyección horizontal de la normal a la superficie de recepción. Se mide de 0° a 180° si partimos del meridiano local hacia el Este y de 0° a -180° en sentido contrario.

La posición del Sol en la esfera celeste varía para cada latitud, para cada día del año y a cada hora. Además, representa un factor muy importante a la hora de analizar el efecto de la incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre.

En la tabla 2.2 se muestra una relación con los valores promedio que toma el ángulo cenital solar al mediodía para cada mes en la ciudad de Valencia (Cañada et. al., 2004):

Tabla 2.2.- Ángulo cenital solar medio al mediodía para cada mes en la ciudad de Valencia

Mes	Ángulo cenital (grados)
Enero	60,4
Febrero	52,5
Marzo	41,9
Abril	30,1
Mayo	20,7
Junio	16,4
Julio	18,3
Agosto	26
Septiembre	37,3
Octubre	49,1
Noviembre	58,4
Diciembre	62,5

La importancia que tiene el ángulo cenital solar se debe a que, en función de ese ángulo, se puede conocer con qué ángulo inciden los rayos sobre la superficie y por tanto determinar con qué energía llegan a la misma.

De hecho, para una **superficie horizontal**, el valor del ángulo cenital solar coincide con el ángulo de incidencia y su valor puede calcularse mediante la expresión 2.6.

$$\cos \theta = \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \varphi + \operatorname{cos} \delta \operatorname{cos} \omega \operatorname{cos} \varphi \quad (2.6)$$

Para el caso de una **superficie inclinada** β grados, y siempre que la superficie esté orientada hacia el sur, se puede calcular el ángulo de incidencia como se indica en la expresión 2.7.

$$\cos \theta = \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen}(\varphi - \beta) + \operatorname{cos} \delta \operatorname{cos} \omega \operatorname{cos}(\varphi - \beta) \quad (2.7)$$

siendo para ambos casos:

δ = declinación

φ = latitud del lugar

β = el ángulo de inclinación de la superficie.

ω = el ángulo horario

2.4.- MEDIDA DEL TIEMPO Y LA POSICIÓN SOLAR

Para estimar la energía que incide sobre una determinada superficie, es necesario conocer con qué ángulo de incidencia los rayos solares alcanzan dicha superficie, para lo cual es necesario referenciar tanto la posición del Sol como la de dicha superficie en un determinado sistema de referencia. Para que dicho sistema quede perfectamente definido, se debe utilizar una medida del tiempo que sea universal.

La medida del tiempo universal se conoce como **Tiempo Solar Verdadero** y permite la no dependencia de las condiciones locales. Se calcula según la expresión 2.8.

$$\text{TSV} = \text{Hora local (hora del reloj)} + \text{Corrección de la longitud} + \text{Corrección de la ecuación del tiempo} + \text{Corrección estatal} \quad (2.8)$$

a) La corrección de la longitud vale: $4 \cdot (L_S - L_E)$, siendo:

L_S : longitud del meridiano que define la hora. En España el meridiano de referencia es el de Greenwich cuya longitud es de cero grados.

L_E : longitud geográfica del lugar.

El **4** es un factor de cambio de unidades ya que la Tierra gira con una velocidad media de 15° por hora, por lo tanto existe una relación de 4 minutos por grado.

b) Corrección de la Ecuación del Tiempo

El tiempo solar está basado en la rotación de la Tierra alrededor de su eje y en el movimiento de traslación alrededor del Sol. El día solar es el intervalo de tiempo (no necesariamente 24 horas) que el Sol tarda en completar un ciclo alrededor de un observador fijo sobre la Tierra. El día solar varía en función del año. Los dos factores principales que influyen en esta variación son: 1) la Tierra en su movimiento de traslación barre áreas desiguales en el plano de la eclíptica. 2) el eje de la Tierra está inclinado con respecto al plano de la eclíptica. Esta discrepancia entre el día solar y el día medio (de 24 horas) recibe el nombre de ecuación del tiempo y tiene un valor máximo de 16 minutos. Se puede calcular mediante la ecuación 2.9.

$$E_T = 229,18 \cdot (0,000075 + 0,001868 \cdot \cos g - 0,032077 \cdot \sin g - 0,014615 \cdot \cos 2g - 0,04089 \cdot \sin 2g) \quad (2.9)$$

siendo:

$$g = (n-1) \cdot 2\pi/365$$

n = día juliano

c) Corrección estatal

En España hay que tener en cuenta una corrección de una hora en invierno y dos horas en verano.

Tanto los símbolos que representan la irradiancia como la irradiación, pueden ir acompañados de distintos subíndices que hacen referencia a la posición de la superficie de recepción, a su inclinación y a otras características especiales.

$$X_{123} \quad (2.10)$$

X puede ser la letra “G”, “I” o “H” dependiendo de si hablamos de irradiancia, irradiación horaria o irradiación diaria.

1: este subíndice indica las características de la radiación solar. Será “b” si la radiación es directa, “d” si es radiación difusa y “r” si es radiación reflejada. Si no aparece subíndice alguno, se entiende que hablamos de radiación global (b+d+r).

2: Hace referencia a la inclinación de la superficie de recepción de la radiación. Si es “n”, la incidencia es normal a la superficie de recepción. Se aplicará a la radiación directa. Si es “β”, la radiación incide sobre un plano inclinado. Si no aparece subíndice, se entiende que la incidencia de la radiación es sobre un plano horizontal.

3: Se refiere al azimut de la superficie de recepción. Será “γ”, si la proyección horizontal de la normal a la superficie de recepción está desviada respecto del meridiano del lugar o línea Norte-Sur. Si no aparece subíndice, indica que la superficie de recepción está orientada hacia el Sur o hacia el ecuador.

2.5.- EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

La energía radiada por el Sol es necesaria para mantener la vida en la Tierra y también es responsable de provocar el cambio climático. La energía viaja desde el Sol, a través del vacío del espacio en forma de radiación electromagnética. Este tipo de radiación consta de dos tipos de ondas sinusoidales: una onda eléctrica y una onda magnética, que son perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación.

Esta forma de energía tiene un amplio rango de energías y longitudes de onda y configura lo que se denomina como **espectro electromagnético**.

Las longitudes de onda que componen el espectro son: ondas de radio, microondas, infrarrojos, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

Para la radiación electromagnética, la energía del fotón, E, en julios (J) se relaciona con la frecuencia, f por la ecuación 2.11.

$$E = h \times f \quad (2.11)$$

donde $h = 6.63 \times 10^{-34}$ es la constante de Plank.

La frecuencia, es el número de ondas que pasan por un punto fijo por unidad de tiempo y sus unidades son los Hercios (Hz). Un Hercio es igual a una onda por segundo. La frecuencia se relaciona con la velocidad de propagación, c mediante la expresión 2.12.

$$c = f \times \lambda \quad (2.12)$$

donde λ es la longitud de onda de la radiación, es decir la distancia de un pico de la onda a otro. El valor de λ en el vacío es 2.99×10^8 m/s. La unidad de la longitud de onda es el metro y los submúltiplos más comunes para la radiación electromagnética son el nanómetro (nm) y el micrómetro (μm).

El Sol emite radiación electromagnética en un amplio espectro, con el pico de la emisión solar en la longitud de onda visible. La Tierra intercepta solo una pequeña porción de la energía radiada del espacio por el Sol. La cantidad que intercepta, se cuantifica por medio de la constante solar definida anteriormente.

La proporción de radiación solar en la banda de la radiación UV es aproximadamente de un 6%, sin embargo es muy importante para la vida en la Tierra debido a la elevada energía de sus fotones en comparación con las bandas del visible y del infrarrojo (figura 2.9).

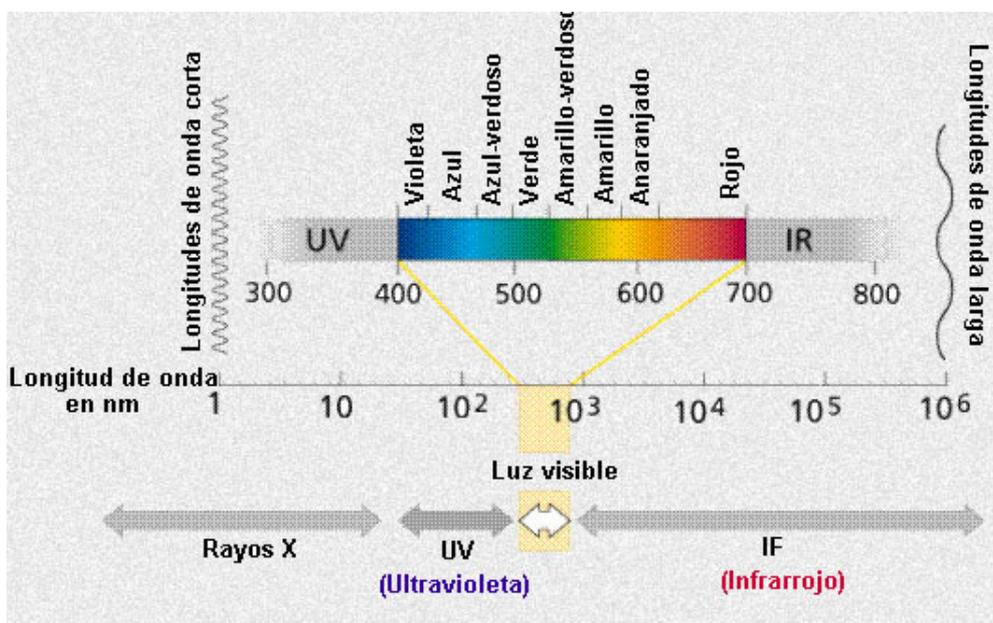


Figura 2.9.- Espectro electromagnético (www.oni.escuelas.edu.com)

2.6.- RADIACIÓN UV

La banda del UV está comprendida en unas longitudes de onda que van desde los 100 a los 400 nm. Estas longitudes de onda son más cortas que las de la región visible e infrarroja y de mayor energía.

Los límites inferior y superior de las diferentes zonas del espectro ultravioleta son:

- UVC: [100-280]
- UVB: [280-320]
- UVA: [315-400]

Las longitudes de onda de las tres zonas están presentes bajo la atmósfera. Sin embargo, las longitudes de onda de las zonas UVC y UVB, que están por debajo de los 295 nm, no alcanzan la superficie de la Tierra. Son absorbidas por el oxígeno diatómico atmosférico (O₂), el ozono (O₃) y otros constituyentes atmosféricos. El valor límite de la longitud de onda a partir de la cual la radiación no llega a la superficie terrestre, puede variar con las condiciones atmosféricas, el período del año y la hora del día.

Los niveles solares de UV no tienen relación con la temperatura. Esto tiene una implicación muy importante de cara a los efectos que puede provocar la radiación UV sobre los humanos y es que no es posible para las personas sentir la radiación UV.

Sí que sentimos el exceso de exposición a la radiación UV y así, notamos un dolor asociado al enrojecimiento de nuestra piel. La sensación que se experimenta durante la exposición es calor o radiación infrarroja, la cual se encuentra dentro de la longitud de onda larga de la radiación visible del espectro electromagnético.

Normalmente, es común asociar la aparición de una quemadura solar con el tiempo cálido y la playa; sin embargo, en función de la latitud, es posible recibir una quemadura solar incluso en invierno.

Apenas un 8% de la radiación solar extraterrestre se encuentra en la región UV e incluso un porcentaje algo inferior es el que finalmente alcanza la superficie. Sin embargo, debido a la relación inversamente proporcional entre la longitud de onda y la energía del fotón, la energía de uno de estos fotones es suficientemente alta como para romper los enlaces químicos de varias moléculas. Esto conlleva un potencial peligro biológico. Ya que normalmente la radiación UVC no alcanza la superficie de la Tierra, se considera la radiación UVB como la más dañina para la vida en la Tierra.

2.7.- FUNCIÓN DE PONDERACIÓN CIE

La absorción de la radiación UV por las macromoléculas importantes de los procesos biológicos, está relacionada con la energía y consecuentemente con la longitud de onda de los fotones incidentes (Parisi, 2004).

Concretamente, el efecto dañino de la radiación UV depende de la radiación UV global, y así un fotón UV de la componente difusa es tan perjudicial biológicamente como un fotón de la componente directa de la radiación. Consecuentemente, para calcular el daño biológico de la radiación UV, es necesario ponderar la irradiancia espectral incidente con una función que se denomina **espectro de acción, A (λ)**.

El espectro de acción proporciona la efectividad relativa o el daño relativo de la radiación UV en las diferentes longitudes de onda y para un proceso biológico particular.

Para el espectro de acción eritemático, la irradiancia UV biológicamente dañina (UVER) viene dada por la expresión 2.13.

$$UVER = \int_{UV} E(\lambda) \cdot A(\lambda) d\lambda \quad (2.13)$$

donde $E(\lambda)$ es la irradiancia espectral en $W m^{-2} nm^{-1}$. El intervalo de integración es el rango de longitudes de onda del ultravioleta.

El espectro de acción para el eritema en humanos, se ha utilizado ampliamente para evaluar el efecto de la radiación UV en la piel humana. La función de ponderación para la piel humana se escribe según la expresión 2.14 (CIE, 1987).

$$UVer(\lambda) = E(\lambda) * \begin{cases} 1 & 250 \text{ nm} < \lambda \leq 298 \text{ nm}, \\ 10^{0.094(298-\lambda)} & 298 \text{ nm} < \lambda \leq 328 \text{ nm}, \\ 10^{0.015(139-\lambda)} & 328 \text{ nm} < \lambda \leq 400 \text{ nm}, \end{cases} \quad (2.14)$$

Y la representación gráfica del espectro de acción es la de la figura 2.10.

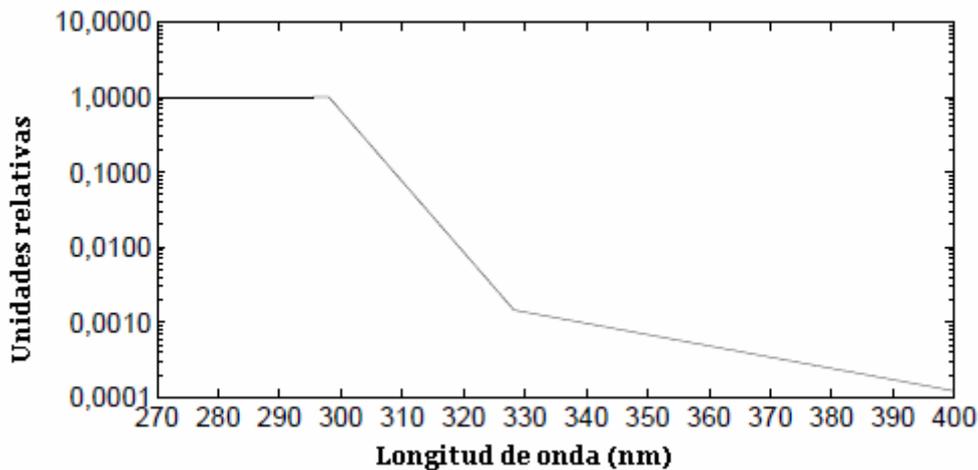


Figura 2.10. Espectro de acción para el eritema humano

El espectro de acción tiene su mayor efectividad (con valor de 1) por debajo de los 298 nm, y después decrece rápidamente hasta los 328 nm. Para longitudes de onda mayores, (en la región de UVA) la efectividad relativa es prácticamente despreciable. Esto implica que la radiación UVB es la que induce en mayor medida la quemadura solar o eritema en la piel.

También se muestra como ejemplo de otro proceso biológico, el espectro de acción para la fotoconjuntivitis (CIE, 1986a) y la fotoqueratitis del ojo humano (CIE,

1986b). La fotoconjuntivitis es la inflamación de la glándula conjuntiva. La fotoqueratitis está referida a menudo como la “ceguera de la nieve” por la gente que pasa a menudo tiempo sobre la nieve. Es debida a una exposición severa a la radiación UV en los ojos y puede considerarse equivalente en el ojo a una quemadura de sol (Longstreth et. al., 1998). Ambas enfermedades tienen solo una respuesta en la banda del UVB. (Parisi, 2004)

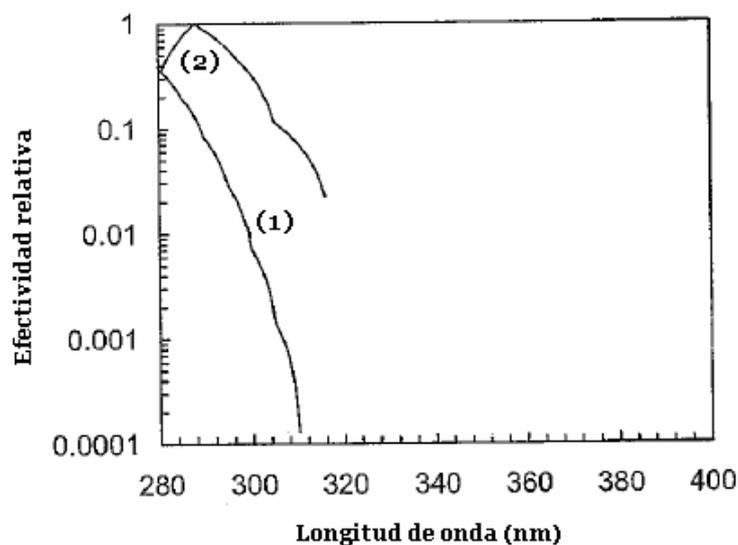


Figura 2.11 Espectro de acción para la fotoconjuntivitis (1) y para la fotoqueratitis (2). (Parisi, 2004)

2.8.- EFECTO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOBRE LA PIEL

La piel está compuesta por dos capas principales y varias clases de células (Algaba, 2004):

- la capa externa de la piel se llama epidermis y contiene tres clases de células: células planas, en forma de escamas en la superficie, llamadas células escamosas, células redondas llamadas células basales y unas células llamadas melanocitos que le dan color a la piel.

- la capa interna de la piel se llama dermis. Es más gruesa y contiene vasos sanguíneos, nervios y glándulas sudoríferas. El vello también crece en la dermis, en unas bolsas llamadas folículos. La dermis produce el sudor, que ayuda a enfriar el cuerpo, y aceites que evitan que se reseque la piel.

El efecto de la radiación **UVC** es letal para el ser humano, sin embargo, como se ha mencionado en apartados anteriores, este tipo de radiación no alcanza la superficie terrestre.

Los efectos inmediatos de la radiación **UVB** sobre el ser humano son beneficiosos, ya que produce una acción calórica y una acción antirraquítica, necesaria para la síntesis de la vitamina D. Sin embargo, una sobreexposición puede producir efectos a corto plazo, que pueden ir desde quemaduras hasta el incremento del grosor de la piel y la formación creciente de melanina, que contribuyen al envejecimiento prematuro de la piel.

Más graves son los efectos crónicos de esta radiación, que incluyen el cáncer de piel y los daños en el ADN de las células, que afectan al sistema inmunitario. Se pueden producir también otros efectos colaterales: reacciones de fotosensibilidad, reactivación de algunas enfermedades de la piel (herpes) y problemas en la vista.

La radiación UVB raramente atraviesa la piel y tiene efectos solo en la epidermis. Por ello, es responsable de los daños más puntuales como las quemaduras o erupciones.

Pero más importante es el hecho de que la radiación UVB estimula nuevos vasos en la piel y si esto ocurre bajo tumores, como carcinomas escamosos, puede inducir indirectamente el crecimiento de tumores y su expansión.

Se asume que la radiación por debajo de 320 nm (UVB) es la causante de daños en el ADN, aunque no debería subestimarse el efecto causado también por la radiación UVA. Una exposición muy alta a la radiación UVA puede producir también lesiones en el ADN y mutaciones de la piel humana.

La enfermedad más grave que se ha relacionado con la sobreexposición a la radiación ultravioleta es el cáncer de piel. La incidencia del cáncer de piel ha ido en aumento en las últimas décadas, siendo uno de los tipos de cáncer más corriente.

Aunque es difícil determinarlo, los expertos estiman que el incremento de melanomas malignos coincidió con el momento en que se impuso la moda del bronceado. El efecto no es inmediato y por suerte no todas las personas expuestas a grandes dosis de radiación solar desarrollarán una enfermedad grave. Pero las estadísticas señalan una mayor incidencia de melanomas en personas de piel clara, siendo las zonas de la piel más afectadas, las expuestas al sol (95%).

Son muchos los factores responsables del cáncer de piel. Uno de los más importantes es que los efectos de la radiación ultravioleta en la piel de las personas son acumulativos a lo largo de los años y puede llegarse a un punto en que pequeñas cantidades produzcan daños irreversibles.

No hay que olvidar que el bronceado es un mecanismo de defensa de la piel. La piel protege al cuerpo contra el calor, la luz, infecciones y lesiones. Además almacena agua, grasa y vitamina D. Los rayos ultravioletas atraviesan la piel y llegan a las células vivas, inflamándolas y produciendo quemaduras.

En un esfuerzo por evitar el futuro daño, los melanocitos que se encuentran en la epidermis, generan un pigmento llamado melanina que es el responsable de dar un aspecto moreno a la piel y de protegerla de la radiación ultravioleta.

Pero el daño se acumula año tras año, hasta que se produce una alteración en el ADN de un melanocito. La célula dañada sobrevive y se reproduce, extendiendo el daño a zonas adyacentes y provocando la aparición del cáncer de piel.

El cáncer de piel es una enfermedad en la que se encuentran células cancerosas o malignas en las capas exteriores de la piel. Hay varios tipos de cáncer que se originan en la piel:

- cánceres de piel no-melanoma: estos tipos de cáncer son los más comunes y menos peligrosos, ya que la mayoría pueden curarse, generalmente por cirugía, aunque también pueden tratarse mediante quimioterapia tópica o radioterapia.
- cánceres melanoma: el melanoma es un cáncer en el que se encuentran células cancerosas en los melanocitos. La mayoría de las veces, el melanoma se expande horizontalmente, mientras no se generalice, pero después se desarrolla un crecimiento rápido hacia capas más internas, pudiéndose diseminar rápidamente por metástasis a otras partes del cuerpo y órganos a través del sistema linfático y la sangre. Es el tipo de cáncer de piel más grave. Puede ocurrir sin la influencia de la luz solar, pero a menudo se produce después del daño en la piel causado por sobreexposición a la luz solar. Una sobreexposición a la radiación ultravioleta hasta los 15 años de edad, que va acompañada de una o más quemaduras severas, es la causa más frecuente de aparición de SSM (melanoma de extensión superficial) y de NM (melanoma nodular) cuando se alcanzan los 20 o 30 años. Otro factor importante es el número de lesiones pigmentadas y lunares. La gente con gran número de lunares tiene un alto riesgo de desarrollar melanomas. Un lunar congénito que crezca por encima de 1,5 cm, tiene una probabilidad del 6% de volverse maligno después de los 18 años.

Más de la mitad de los cánceres de piel que se detectan en España son melanomas de extensión superficial, afecciones típicas de las personas que han tomado el sol de manera intermitente.

Se da en mayor proporción (62%) en mujeres de edad media, con más incidencia en los hombros y en las piernas.

2.8.1 Fototipos de piel

Las tasas de incidencia de los melanomas tienen relación con el tipo de piel de cada individuo.

Los fototipos cutáneos se han establecido en función de la susceptibilidad de la piel a sufrir daño por la acción solar.

Se clasifican en seis grupos que, mediante la numeración del 1 al 6, distingue a los diferentes patrones de la piel. Los números más bajos corresponden a las personas de piel más clara y los números más altos a las de piel oscura y por tanto con mayor protección contra la radiación ultravioleta como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3.- Identificación de fototipos de piel (Algaba, 2004)



Fototipo	I	II	III	IV	V	VI
Piel	blanca	blanca	blanca	Blanca/morena	amarronada	Negra
Pelo	Albino/rubio	Rubio/pelirrojo	castaño	oscuro	oscuro	Oscuro
Ojos	Azules/verdes	Azules/verdes	pardos	oscuros	oscuros	Oscuros
Quemaduras	intensas	fácilmente	moderadas	poco	Raras veces	Nunca
Bronceado	nunca	Con dificultad	ligero	fácil	Fácil e intenso	Intenso
Tiempo de protección natural	5-10 min	10-20 min	20-30 min	45min	60min	90 min
Valor de 1 MED	200 J/m ²	250 J/m ²	350 J/m ²	450 J/m ²	550 J/m ²	650 J/m ²

donde

MED (Minimum Erythema Dose) : cantidad de UV eritemática requerida para producir un eritema apenas perceptible en personas con piel de tipo 1 tras un intervalo de 8 a 24 horas de exposición a la radiación UV (Diffey, 1992).

2.9.- UNIDADES RADIOMÉTRICAS

Las magnitudes que suelen manejarse en este contexto son: la exposición radiante y la irradiancia.

La exposición radiante es la energía incidente dividida por el área de la superficie del receptor, y las unidades son julios por metro cuadrado (J/m^2).

La irradiancia es la potencia incidente dividida por el área de la superficie del receptor, y las unidades son vatios por metro cuadrado (W/m^2). Si la irradiancia está referida a una banda estrecha del espectro, entonces se le llama irradiancia espectral y las unidades son por intervalo de longitud de onda, $W/m^2 \cdot nm$. Estas tres unidades radiométricas o sus múltiplos y submúltiplos son los que se utilizarán en esta tesis.

Otra unidad de exposición, en este caso de exposición eritemática, es el MED (Minimum Erythema Dose) que es la cantidad de UV eritemática requerida para producir un eritema apenas perceptible en personas con piel de tipo 1 tras un intervalo de 8 a 24 horas de exposición a la radiación UV (Diffey, 1992).

Otra unidad de dosis eritemática es el SED (Standard Erythema Dose). En este caso 1 SED equivale a $100 J/m^2$. En cuanto al factor de conversión para el MED, se suele utilizar el valor de 1 MED equivalente a $200 J/m^2$ para piel de Tipo 1.

La figura 2.12 muestra la variación de intensidades UV responsables de las quemaduras del sol (exposición eritemática) en el mes de Julio de 1988 para todo el globo terrestre:

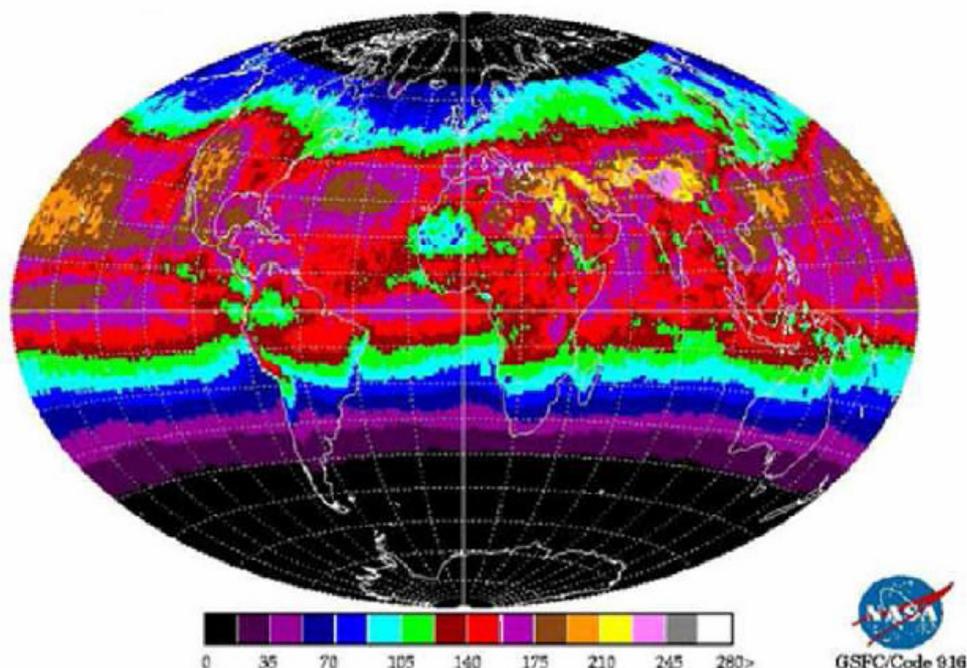


Figura 2.12.- Imagen a partir de la composición de datos del instrumento TOMS a bordo del Earth Probe. Elaborada por la NASA. Las unidades son kJ/m^2 .

2.9.1 Índice UVI

Los niveles de radiación UV son tratados en los medios de comunicación en la forma de índice UVI (WMO, 1994). Esta magnitud ha sido estandarizada por la Organización Mundial de la Salud (WHO), la Organización Mundial de la Meteorología (WMO), el Programa Medioambiental de Naciones Unidas (UNEP), y la Comisión Internacional de la Protección de la Radiación No-Ionizante (ICNIRP).

El índice UVI es un medio de informar al público de los niveles de radiación UV y habitualmente ayuda a tomar conciencia del riesgo potencial asociado al exceso de exposición UV y la importancia de tomar medidas de protección.

Los valores del índice UVI van hasta aproximadamente el 10 en España y conforme el número es más elevado, más alta es la cantidad de radiación UV biológicamente dañina. Normalmente se hacen predicciones para el día siguiente.

Es conveniente recalcar el hecho de que está referido a un plano horizontal y no tiene en cuenta ninguna orientación posible del objeto receptor, por lo que puede, en algunas ocasiones, subestimar las exposiciones a la radiación UV de superficies en otras orientaciones, por ejemplo, superficies orientadas en un plano normal a la dirección del Sol (Parisi y Klimlin, 1999).

El índice UVI es una media de los efectos potencialmente dañinos sobre la piel humana de la radiación UV y se determina multiplicando la irradiancia eritemática en unidades de W/m^2 por un valor de 40 y expresando el resultado mediante el número entero más próximo. Los valores inferiores a 3, son moderados, de 3 a 6 son elevados, de 7 a 9 son muy altos y mayores de 9 son extremos (Lemus-Deschamps et. al, 1999).

A continuación, se muestra la tabla 2.4 que relaciona el índice UVI con el riesgo que puede provocar en función del tipo de piel (Algaba, 2004).

Tabla 2.4.- Riesgo de daño a la piel en función del índice UV

Índice UV	Riesgo de daño a la piel			
	Piel clara, se quema fácilmente	Piel clara, se broncea	Piel oscura	Piel negra
1 - 2	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
3 - 4	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
5	Alto	Medio	Bajo	Bajo
6	Muy alto	Medio	Medio	Bajo
7-9	Muy alto	Alto	Medio	Medio
10	Muy alto	Alto	Alto	Medio

2.10.- INFLUENCIA DE LA ATMÓSFERA SOBRE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.

Ozono atmosférico

El ozono se acumula en la atmósfera entre los 25 y 30 km de altura. En esta altitud, se forma por el efecto de la ruptura de moléculas de oxígeno por la radiación UV y la consiguiente combinación de átomos de oxígeno con otros oxígenos diatómicos para formar moléculas de oxígeno triatómico u ozono como se muestra en la expresión 2.15.



Las concentraciones de ozono son importantes debido a la absorción de la radiación UV y la reemisión de radiación térmica infrarroja.

El ozono atmosférico se mide en unidades Dobson (DU) que se define de la siguiente forma: si suponemos una columna de atmósfera que tiene una sección rectangular de $10^\circ \times 5^\circ$ y comprimimos el ozono contenido en esta columna de aire llevándolo a presión y temperatura estándar (0°C y 1 atm), entonces se formará una capa delgada de ozono sobre la superficie terrestre de apenas unos milímetros de espesor. Pues bien, 1 DU se define como 0,01 mm de espesor de la capa de ozono. Además, este valor equivale a $2,69 \times 10^{16}$ moléculas de ozono por cm^2 (Madronich et. al., 1998).

Es de especial importancia la absorción de radiación ultravioleta por el ozono para longitudes de menores de 330 nm, (Blumthaler, 1993) incrementándose su poder de absorción conforme disminuye la longitud de onda, hasta el punto que para $\lambda < 295$ nm y en particular para la UVC, la radiación ultravioleta es completamente absorbida en su camino hacia la superficie terrestre (Dave et al., 1976). También absorbe gran parte de la radiación UVB y, aunque en menor medida, la radiación UVA.

Medidas espectrales demuestran que la disminución de la concentración de ozono estratosférico, produce un aumento de la radiación ultravioleta que alcanza el suelo (Kerr y McElroy, 1993), si bien los efectos de la disminución de la capa de ozono son menos apreciables en la región UVA debido a la baja sección eficaz de absorción que tiene el ozono en ese intervalo de longitud de onda.

Turbiedad atmosférica

Diversos estudios han evaluado que los aerosoles producen la mayor atenuación de la radiación en la región ultravioleta. De hecho, la práctica totalidad de la atenuación UVA se debe a la dispersión Rayleigh y a la absorción por aerosoles (Iqbal, 1983).

La dispersión que tiene lugar cuando el tamaño de las partículas es comparable a la longitud de onda de la radiación incidente se debe a partículas como aerosoles y vapor de agua.

Los aerosoles son pequeñas partículas sólidas o líquidas que están suspendidas en el aire. La cantidad de radiación dispersada por los aerosoles varía con la longitud de onda y así el AOD (espesor óptico de aerosoles) se aproxima por medio de la fórmula de Ångstrom 2.16 (Wenny et.al., 2001):

$$\text{AOD}(\lambda) = \beta\lambda^{-\alpha} \quad (2.16)$$

donde β y α son los conocidos coeficientes de turbiedad y el exponente de la longitud de onda, respectivamente.

Las investigaciones han demostrado que, mejorando la precisión de los valores del AOD que son introducidos en un modelo de transferencia radiativa para calcular el índice UV, se mejorará la precisión de las medidas de campo (Wenny et.al, 2001).

El AOD se mide determinando el espesor óptico atmosférico total y restándole las sumas de los espesores de Rayleigh y el espesor óptico del ozono.

Nubosidad atmosférica

Las nubes producen la atenuación más importante de la radiación solar, de forma que la componente difusa de la radiación solar representa de un 10% a un 20% de la radiación total para días claros y un 100% para cielos totalmente cubiertos. Las nubes pueden, por tanto, atenuar la radiación ultravioleta hasta en un 80%, produciendo este efecto por igual en la banda de longitud de onda entre 290 y 325 nm, sin importar la longitud de onda (Bais et al., 1993). En la figura 2.13 se muestra la razón de transmisión de la radiación ultravioleta a la radiación global para diferentes espesores de nubes.

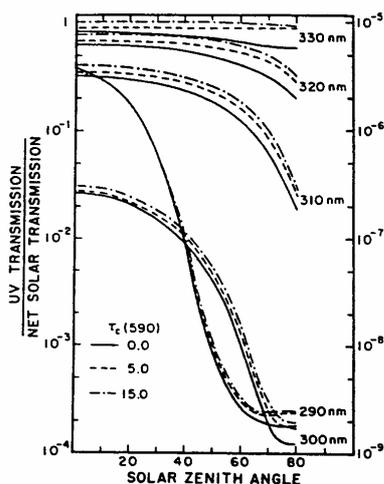


Figura 2.13.- Razón de la transmisión de la radiación ultravioleta a la radiación total para diferentes espesores de nubes (τ_c) (Spinhirne et al., 1978).

También hay que señalar, sin embargo, que hay ocasiones en que las nubes cubren gran parte del cielo pero sin ocultar del todo el disco solar. Es entonces cuando la radiación solar reflejada por la superficie terrestre hacia arriba, es reflejada a su vez por las nubes nuevamente hacia la Tierra, quedando confinada entre las nubes y el terreno y aumentando, como consecuencia, el nivel de radiación en la superficie hasta en un 30% (Maldronich and Flocke, 1997, Mims and Frederick, 1994).

Las nubes son generalmente difíciles de representar de una forma realista en un modelo, debido a la gran cantidad de factores que influyen en la nubosidad (espesor de las nubes, altura, distribución del tamaño de las gotas...). Por ello, es difícil parametrizar los efectos de las cubiertas de nubes, y la mayoría de modelos se restringen a cielos claros (McKenzie, 1991). A partir de diversos estudios, se concluye que las nubes causan una mayor atenuación sobre la radiación global visible que sobre la ultravioleta.

Altura solar

El ángulo solar cenital (SZA) depende de la localización geográfica y cambia con la hora del día y el día del año. Cuanto más alto está el sol en el cielo (lo que corresponde a un ángulo cenital menor), la radiación solar que viaja a través de la atmósfera debe recorrer menos camino.

Cuanto menor es el camino a través de la atmósfera pues, menor absorción y dispersión de la radiación UV antes de llegar a la Tierra y, en consecuencia, si las demás variables permanecen constantes, mayores niveles de radiación UV se registrarán.

El SZA mínimo para una localización concreta tiene lugar en el mediodía solar. Para ángulos SZA grandes, el sol está brillando oblicuamente en la superficie y como resultado, la radiación directa del sol se extiende sobre una mayor superficie dando lugar a una menor energía por unidad de área (Parisi y Klimlin, 1997).

Considerando únicamente el factor de que la radiación se dispersa sobre una mayor área para un ángulo cenital mayor, la irradiancia UV se deduce en la expresión 2.17.

$$UV_D \cdot \cos(\theta) \quad (2.17)$$

donde UV_D es la irradiancia UV directa y θ es el ángulo de incidencia entre la radiación incidente y la normal a la superficie.

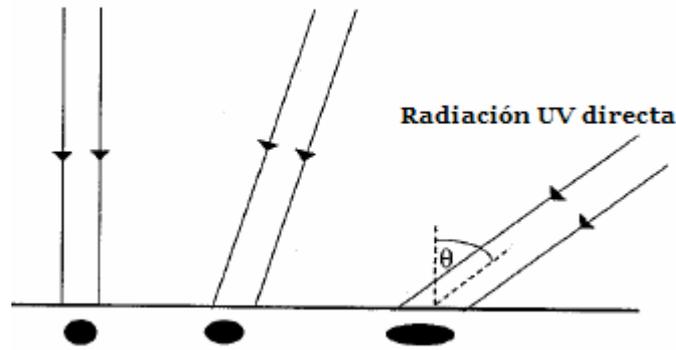


Figura 2.14.- Ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie horizontal (Parisi, Klimlin, 1997).

Sabiendo que la altura solar se define como el ángulo complementario del ángulo cenital, se puede decir que la influencia de la altura solar sobre la irradiancia ultravioleta está relacionada con la masa de aire atravesada por ésta (figura 2.15), de forma que la radiación ultravioleta es más efectivamente atenuada cuando decrece la altura solar que los flujos de radiación de longitudes largas. En particular, se observa que, a medida que aumenta el ángulo cenital, la radiación UVB se ve fuertemente reducida, mientras que la UVA decrece aproximadamente igual en todo su intervalo.

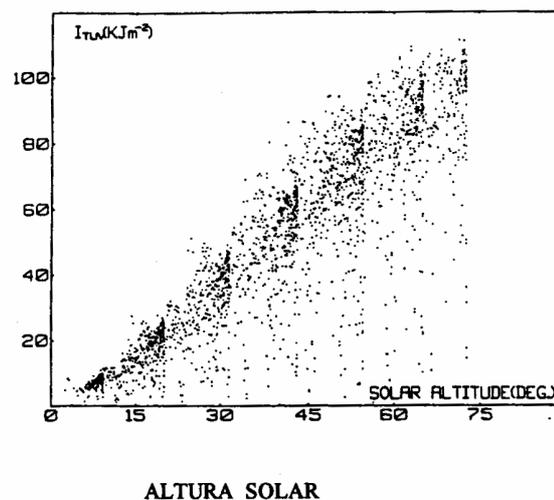


Figura 2.15.- Radiación ultravioleta horaria (kJ/m^2) en función de la altura solar (Martínez-Lozano et al., 1994).

También es destacable el hecho de la reducción que debido al ozono, sufre la radiación ultravioleta para longitudes de onda inferiores a 320 nm.

Altitud

El aumento de la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra con la altitud es debida a la menor masa de aire que se atraviesa conforme la altura es mayor. Si además existe presencia de nieve, se incrementa el flujo de radiación ultravioleta debido al albedo de la superficie y a los efectos de la dispersión múltiple con la atmósfera.

Estos mayores niveles de radiación UV se deben a la existencia, en las grandes alturas, de bajas presiones atmosféricas, menores efectos de dispersión y menor cantidad de aerosoles que puedan absorber la radiación. Blumthaler et al. (1997) definen el efecto de la altitud como el porcentaje de aumento que sufre la radiación ultravioleta recibida a medida que la altitud crece y expresado en tanto por cien según la expresión 2.18.

$$AE = \left(\frac{I_H}{I_L} \right) \times \frac{\Delta A}{1000} \times 100\% \quad (2.18)$$

donde I_H y I_L son las irradiancias en el lugar de gran altitud y de baja altitud respectivamente y ΔA es la diferencia de altitud entre los dos lugares.

Existen numerosos estudios que cuantifican el porcentaje de aumento de radiación ultravioleta a medida que la altitud crece, de forma que se concluye que para el verano, el efecto de la altitud sobre la radiación ultravioleta es doble que sobre la radiación global, mientras que para el invierno, estos aumentos son más notables, registrándose, cada 1000 metros, variaciones del 15% para la radiación global y del 23% para la ultravioleta (Blumthaler, 1993, Reier et al., 1982).

La influencia de la altitud en la irradiancia solar ultravioleta es mayor para las longitudes de onda menores debido a:

- conforme la altura es menor, aumenta el proceso de atenuación de la radiación de longitud de onda corta debida a al ozono troposférico.
- la mayor cantidad de dispersión en las longitudes de onda cortas.

Albedo

El albedo de una superficie se define como la razón de la irradiancia reflejada frente a la irradiancia incidente, siendo función del tipo y textura de la superficie y de la longitud de onda. Su valor depende del ángulo de incidencia de la radiación, y a pesar de que existen medidas del albedo de muy diversas superficies para el intervalo de longitud de onda de la luz visible (tabla 2.5), se encuentran pocas medidas para el intervalo del ultravioleta.

La reflexión de la radiación UV desde una superficie es “especular” cuando el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. En cambio, la reflexión es “difusa” cuando la radiación se refleja por igual en todas las direcciones y es independiente del ángulo de incidencia.

Una superficie que proporciona una perfecta reflexión difusa se denomina superficie “lambertiana”.

El albedo superficial varía con el tipo de superficie y con la longitud de onda de la radiación. Para cada tipo de superficie, hay un rango de valores de albedo posibles debido a las condiciones y al estado de la superficie. En general, el albedo en las

longitudes de onda del ultravioleta es menor que el albedo para la región visible del espectro.

El albedo de los materiales metálicos empleados en los techos de los edificios oscilan entre 0,04 y 0,3 (Lester y Parisi, 2002). Para estos materiales metálicos, el albedo de las superficies galvanizadas es más elevado que para las superficies metálicas coloreadas en un orden de un 20% y es más elevada que el césped en un 27%. No se ha encontrado una dependencia notable del albedo con el ángulo cenital.

Cualquier persona que esté situada cerca de superficies con un elevado albedo, experimentará una exposición UV mayor debida a la acción combinada de la radiación directa que reciben, la reflejada por la superficie y la reflejada que llega al sujeto después de las dispersiones sufridas entre la superficie y la atmósfera antes de llegar al sujeto.

La influencia de estas dispersiones múltiples será mayor para las longitudes de onda cortas debido a la mayor proporción relativa de efectos de dispersión en estas longitudes de onda.

Tabla 2.5. Valor de albedo de radiación global sobre algunas superficies.

Superficie	Albedo %	Referencia
Agua líquida	5-10	Kondratyev, 1969 Blumthaler and Ambach, 1988 Doda and Green, 1980
Nieve	25-100	Kondratyev, 1969 Blumthaler and Ambach, 1988
Bosque de coníferas	4-8	Kondratyev, 1969
Pradera	1-3	Blumthaler and Ambach, 1988
Bosque de pinos	1-2	Blumthaler and Ambach, 1988
Piedra caliza	8-12	Blumthaler and Ambach, 1988
Desierto	4	Blumthaler and Ambach, 1988
Cemento blanco	17	Blumthaler and Ambach, 1988
Asfalto	4-11	Blumthaler and Ambach, 1988 Coulson and Reynolds, 1971

Como resumen de lo anteriormente explicado, se muestra en la figura 2.16 una gráfica donde se evalúan los diferentes parámetros que pueden afectar a la radiación ultravioleta a su paso por la atmósfera y considerados individualmente.

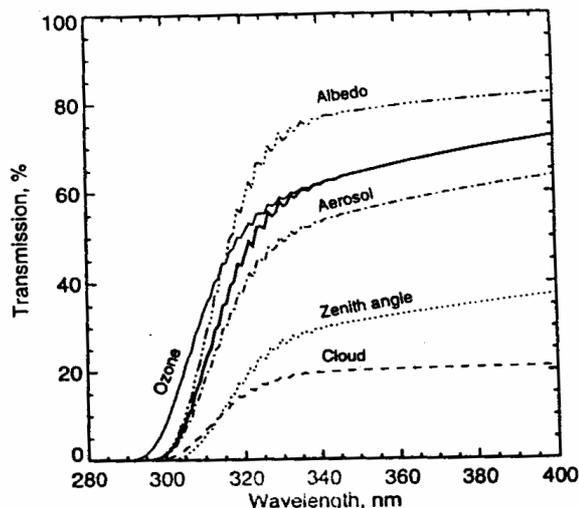


Figura 2.16.- Transmitancia espectral para diferentes modelos de atmósferas: la línea continua sería la irradiancia recibida para condiciones estándar. Las líneas discontinuas muestran los efectos de variar condiciones individualmente (Madronich et al., 1997).

2.11.- SISTEMAS DE MEDIDA

Se va a efectuar una descripción general de los distintos instrumentos utilizados para la medida y adquisición de los datos tanto relativos a las variables de radiación solar como las variables meteorológicas. Posteriormente, en el capítulo 4, se profundizará más en los aparatos que han sido empleados en la realización de esta tesis.

2.11.1.- Radiómetro

Es un instrumento que tiene como función principal la medida de la energía asociada a la radiación incidente sobre un plano y con una orientación dada, así como aportar información acerca de la distribución espectral y espacial de dicha energía. Estos instrumentos, en general, convierten la energía de la radiación incidente en otra forma de energía que se pueda medir mediante el empleo de sensores.

Los sensores convierten una magnitud física en una señal eléctrica digital, de más fácil lectura y almacenamiento. Los sensores más ampliamente usados para la medida de radiación solar son los termoelectrónicos y los fotoelectrónicos.

Los radiómetros se clasifican atendiendo al tipo de radiación que pueden medir. Los dos tipos fundamentales de radiómetros usados en el espectro solar son los pirheliómetros y los piranómetros. No obstante, tanto los pirheliómetros como los piranómetros, miden la radiación de onda corta ($300 < \lambda < 4000$ nm), por lo que para radiación de onda larga ($\lambda > 4000$ nm), se recurre a los pirgeómetros y para las medidas de todas las longitudes de onda a los pirradiómetros.

2.11.2.- Pirheliómetro

Son dispositivos de tipo telescópico con una apertura de pequeño diámetro, que miden la radiación solar directa sobre superficie normal. La superficie receptora, por lo tanto, debe mantenerse en todo momento perpendicular a la dirección de la radiación solar, ya que para realizar una medida correcta, debe estar orientado hacia el Sol.

Es por ello necesario, que el aparato esté acoplado sobre una montura ecuatorial y provisto de un mecanismo de seguimiento de disco solar. Las aperturas del dispositivo están dispuestas de forma que sólo la radiación procedente del disco solar y de una estrecha franja anular en torno al mismo alcanza el receptor, por lo que el dispositivo debe tener un ángulo de apertura muy pequeño.

El diseño más general consiste en un tubo cilíndrico pintado interiormente de negro, con el sensor colocado en uno de sus extremos mientras que el otro extremo está protegido por un cristal de cuarzo como se puede observar en la figura 2.17.

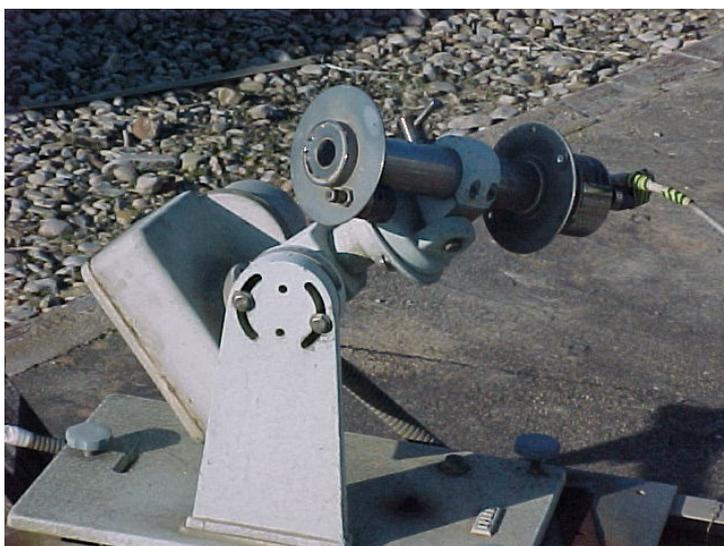


Figura 2.17.- Pirheliómetro

2.11.3.- Piranómetro

Es el instrumento más empleado en la medida de la radiación solar. Mide la radiación global generalmente sobre una superficie horizontal.

Los piranómetros más corrientes constan de dos cúpulas, cuya función principal es filtrar la radiación infrarroja de la atmósfera y la radiación de onda corta que proviene del Sol, evitando que alcance el receptor (figura 2.18). Está constituido por una termopila, cuya unión caliente está recubierta de una pintura de un elevado coeficiente de absorción. El cuerpo del instrumento aloja los circuitos electrónicos y sirve de sumidero de calor para la unión fría de la termopila. Además, dispone de una desecante para evitar la condensación en el interior del instrumento y de un nivel de burbuja para facilitar la nivelación.

Otro tipo de modelo muy utilizado es el piranómetro blanco/negro. En este caso, también existe una termopila pintada de blanco y negro que actúa como receptor. Las uniones frías de la termopila están unidas a la pintura blanca del detector y las uniones calientes a la pintura negra. La señal es proporcional a la diferencia de temperatura entre las uniones frías y calientes. Este tipo de piranómetro es mucho más ligero que el anterior, aunque tiene un tiempo de respuesta considerablemente mayor.

La medida de la radiación difusa se puede obtener también por medio de piranómetros, siempre que se les acople un elemento denominado banda de sombra cuya función es evitar que la radiación directa alcance el receptor.



Figura 2.18.- Piranómetro para plano inclinado (izqda) y piranómetro blanco-negro (dcha)

2.11.4.-Dosímetro

La exposición personal a la radiación UVER puede ser medida empleando dosímetros de tipo físico, químico o biológico.

Un dosímetro indica el efecto de la irradiancia UV sobre un sistema biológico específico cuando una propiedad medible cambia de una manera reproducible después de la exposición a la radiación UV.

Se calibra en unidades físicas frente a otro instrumento que mida UV (un espectralradiómetro o un radiómetro de banda ancha).

Un dosímetro personal es capaz de evaluar la exposición UV en condiciones reales, lo cual incluye el cambio de posición y la orientación de la superficie con respecto a la fuente de radiación.

La conveniencia de uno u otro dosímetro depende del espectro específico de respuesta. Un dosímetro debe ser preciso, exacto, fiable, barato, independiente de la temperatura y la humedad y que tenga una respuesta biológica reproducible.

La mayoría de los dosímetros utilizados para medir la exposición personal a la radiación UV tienen una respuesta que se parece al espectro de acción eritemática

definido por la Comisión Internationale d'Eclairage (CIE) y ponderan la radiación UV a diferentes longitudes de onda según el punto en que se induce el eritema.

2.11.4.1.- Dosímetros físicos

Los microsensores electro-ópticos han hecho posible la construcción de pequeños detectores de radiación UV capaces de estar eléctricamente emparejados a un registrador de datos portátil, que puede ser colocado en el bolsillo de un pantalón, enganchado a un cinturón o sujeto a unas gafas.

Por tanto, es posible recoger datos de exposición UV segundo a segundo, lo cual permite un mayor entendimiento del comportamiento humano bajo la radiación solar.



Figura 2.19.- Dosímetro X2000-4 colocado en el pantalón de un voluntario para un estudio de campo (Casale, 2006)

Sin embargo, este tipo de dosímetros presentan algunas limitaciones: la cantidad de datos almacenados puede estar condicionada por el tiempo de procesamiento, los semiconductores UV de los instrumentos electrónicos puede que no se comporten de la misma manera que sus homólogos biológicos, la complejidad del sistema operativo puede resultar en un considerable consumo de energía, el precio puede ser elevado, puede ser difícil lograr una satisfactoria respuesta coseno, la durabilidad frente a agentes atmosféricos y la independencia con la temperatura puede que no sean las más óptimas.

2.11.4.2.- Dosímetros químicos

La técnica con la que se miden los cambios químicos producidos por la radiación, es la base de los dosímetros personales de radiación UV. Los materiales más ampliamente utilizados para los estudios de dosimetría UV personal son las polisulfonas termoplásticas.

Cuando el film se expone a la radiación UV en longitudes de onda que se encuentren principalmente en la banda UVB, su absorción de la radiación UV se incrementa. El incremento en la absorbancia media en la longitud de onda de 330 nm se incrementa con la dosis.



Figura 2.20.- Dosímetro de polisulfona

El film (normalmente de 40-50 mm de espesor) se monta normalmente en cartones o soportes fotográficos plásticos. Las aplicaciones de la dosimetría con film de polisulfona incluyen:

- exposición solar de niños
- exposición solar de diferentes actividades al aire libre
- exposición solar de diferentes ocupaciones
- distribución anatómica de la radiación solar en humanos y animales
- estudios clínicos de fotosensibilidad
- exposición UV de pacientes sometidos a fuentes terapéuticas de luz
- exposición UV de trabajadores en la industria

2.11.4.3.- Dosímetros biológicos

Los dosímetros biológicos pueden comprender o bien biomoléculas (por ejemplo la pro-vitamina D-3, uracil y DNA); o esporas (por ejemplo *Bacillus subtilis*). Estos dosímetros son pequeños, no requieren una fuente externa de energía y calculan el efecto biológico para una longitud de onda específica. Los dosímetros biológicos registran exposición solar UV acumulada y eventualmente pueden alcanzar la saturación.

Un tipo de biofilm empleado para medir exposiciones personales de radiación UV está hecho empleando esporas del *Bacillus subtilis*. Las esporas son aisladas e inmovilizadas en el biofilm. Estas esporas tienen un espectro de acción para la inactivación de la germinación similar al espectro de absorción de DNA, pero puede ser modificado para reflejar la respuesta eritemática de la piel humana empleando filtros adecuados.

Cada placa tiene su propio “control oscuro” y ambos, el control oscuro y las partes expuestas de la placa, se incuban en un caldo nutriente durante unas 4 horas para permitir la germinación de las esporas y la síntesis de proteínas. Después de aplicar un

tinte para detectar la presencia de proteínas, se mide la absorbancia a 590 nm utilizando un espectrofotómetro.

Algunos estudios emplean biofilms para medir las exposiciones a la radiación UV en condiciones extremas: deportes, grandes alturas, regiones de frío extremo como la Antártida o en algún punto del espacio exterior. Los dosímetros de esporas se han empleado para medidas de dosis personales en guías de montaña, colocando los dosímetros en las gorras o en las gafas. La radiación UVB que pasa a través de las ventanillas de un coche también se ha medido con este tipo de dosímetro.

La gran sensibilidad de las moléculas DNA de las esporas inmovilizadas, produce un perfil de respuesta que se corresponde con la piel humana para las quemaduras solares. Permiten pues la medida de la dosis UV acumulada y no son reutilizables.

También existen métodos de dosimetría biológica basados en modelos in Vitro de fotosíntesis de pre-vitamina D.

Capítulo 3. ANTECEDENTES

En el presente capítulo, se repasan los principales estudios que se pueden encontrar en la bibliografía en relación con los efectos de las barreras físicas sobre la dosis de radiación UVER recibida por las personas. Se ha estructurado el capítulo dividiéndolo en tres partes: la primera analiza los estudios realizados en el ámbito de la barrera física de los árboles, la segunda se centra en los muros verticales y en la tercera y última se habla de los vehículos como barrera frente a la radiación UVER.

3.1.- INFLUENCIA DE LOS ÁRBOLES SOBRE LA RADIACIÓN UV

Una de las estrategias recomendadas por las autoridades públicas para la reducción de la exposición a la radiación UV en las personas, es la búsqueda de sombras de árboles mientras se está al aire libre.

Por ejemplo, mientras se desarrolla una actividad deportiva o de ocio, el empleo de sombras de árboles puede reducir la exposición solar UV. Sin embargo, pese a la intuitiva creencia de que la sombra del árbol nos protege, es necesario saber qué factores afectan a la radiación UV de modo que podamos conocer la exposición UV real que estamos recibiendo. Esto puede resolverse bien modelando o bien midiendo directamente la radiación UV bajo la sombra de un árbol.

La modelización de la radiación UV en la sombra de un árbol ha sido descrita en alguna ocasión (Grant, 1997, Grant et al., 2002). También se ha medido la radiación UV espectral en la sombra de un árbol (Parisi et.al. 2004).

Se han desarrollado estudios en los que se ha medido la irradiancia UV espectral en el centro de la sombra de un árbol típico australiano comparándola con la medida a pleno sol en una zona adyacente en un día relativamente despejado (Parisi, Kimlin, 1999).

La figura 3.1 muestra los resultados del anterior estudio, y se puede apreciar como la reducción de la irradiancia espectral en la sombra respecto al sol es mayor en las longitudes de onda de la radiación UVA que en las de la radiación UVB. Ello se debe a la mayor cantidad de dispersión Rayleigh que tiene lugar en las longitudes de onda cortas y que favorecen la existencia de mayores proporciones de radiación difusa en estas regiones del espectro.

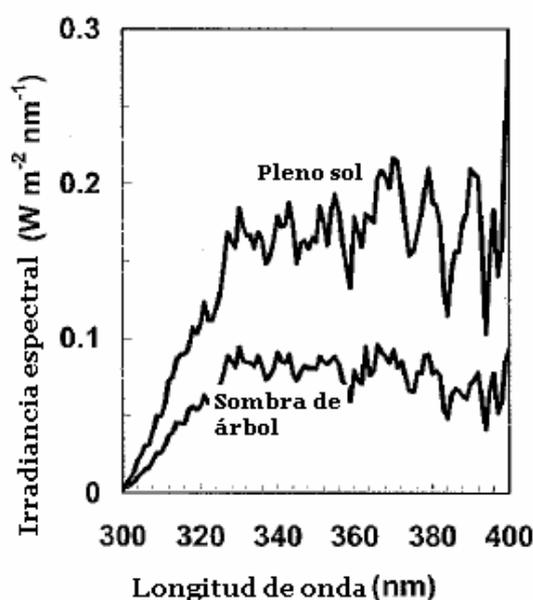


Figura 3.1.- Irradiancia espectral a pleno sol y en la sombra de un árbol (Parisi, Kimlin, 1999)

Se han realizado estudios en los que se ha medido la irradiancia espectral biológicamente dañina en la sombra de un árbol, y se ha comparado con la que se obtiene a pleno sol (Parisi y Klimlin, 1999b) para el espectro de acción del DNA y del melanoma del pez (figura 3.2).

Las diferencias entre la irradiancia espectral biológicamente dañina en la sombra de un árbol en comparación con la que se obtiene a pleno sol es menor en la banda del UVB como se aprecia en la figura 3.2. Esto implica que la proporción relativa de irradiancia UVA a UVB cambia al pasar de la posición a pleno a la sombra del árbol.

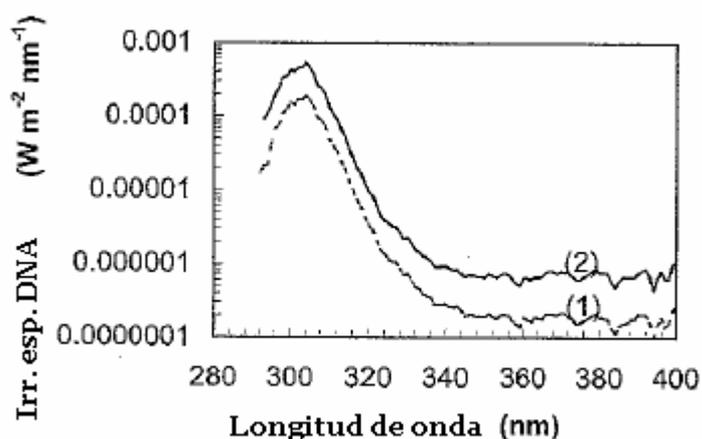


Figura 3.2.- Irradiancia espectral DNA en (1) la sombra de un árbol y (2) a pleno sol (Parisi y Klimlin, 1999b)

Más concretamente, el ratio de UVA a UVB es más bajo en la sombra en comparación con el mismo ratio al sol. La consecuencia que se extrae del estudio es que hay una mayor proporción de UVB en la sombra de un árbol en comparación con la proporción de UVB en el Sol.

El ratio espectral definido como el cociente entre la irradiancia espectral medida a la sombra de un árbol y la irradiancia espectral medida a pleno Sol, ha sido analizado para una posición horizontal y perpendicular al sol (A. V. Parisi, M. G. Klimlin, D. Turnbull, 2001) y en diferentes posiciones de la sombra del árbol (figura 3.3). Se concluye que el ratio de sombra espectral, tanto en plano horizontal como en plano normal al Sol, disminuye conforme aumenta la longitud de onda. Ello es debido a que, conforme aumenta la longitud de onda, disminuye la cantidad de radiación dispersada.

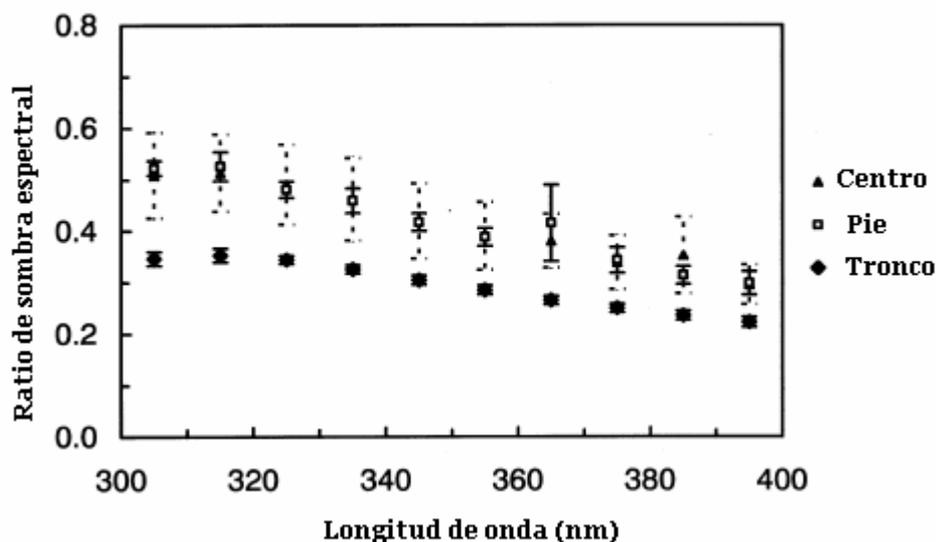


Figura 3.3.- Ratio de sombra espectral en diferentes posiciones de la sombra de un árbol. (Parisi et. al., 2001)

Respecto a las diferencias entre las medidas en plano horizontal y en plano normal, se concluye que la irradiancia espectral en plano normal es menor que en plano horizontal, debido a que en plano normal se tiene menor cantidad de vista del cielo que en plano horizontal. Esta diferencia se reduce conforme aumenta la longitud de onda. Ello se debe a que conforme aumenta la longitud de onda, disminuye la cantidad de radiación dispersada.

Esta afirmación relativa a que en la sombra existe una mayor proporción de UVB que de UVA debido al fenómeno de la dispersión de Rayleigh (proporcional a $1/\lambda^4$) y de Mie (proporcional a $1/\lambda$), es corroborada por otros estudios al respecto.

Por último, existen estudios sobre la influencia de los árboles sobre la irradiancia UVB y la irradiancia PAR (fotosintéticamente activa; desde los 400 a 700 nm). (Heisler, Grant, Gao, 2003). Como conclusiones a dicho trabajo, se puede mencionar el hecho de que las hojas reflejan de un 20 a un 30% de la irradiancia PAR en una posición cercana al árbol, sin embargo la reflectividad es mucho menor para el caso de la radiación UVB (solo de un 1 a un 5%). Por tanto, se demuestra que la presencia de un árbol reduce la cantidad de UVB.

Un parámetro importante a la hora de analizar la influencia de los árboles frente a la radiación UV es el denominado factor de protección, definido como el cociente entre la radiación a pleno sol y la radiación bajo la sombra de un árbol (en realidad es el valor inverso del ratio de sombra anteriormente definido).

Respecto a este parámetro, se han obtenido algunos resultados importantes como los mostrados en el trabajo de Parsons et. al., 1998 en Queensland en el que obtuvieron factores de protección horizontal para el Eucalyptus de 3,5 mientras que para los pinos de Norfolk Island obtuvieron un factor de 3,7 y para los árboles con sombra densa (Mangos y olmos chinos) un factor de 5,5.

Grant, 2002 midió un factor de protección de 6 a 10 para arboledas y encontró un factor de 2 a 5 para árboles solitarios.

Parisi y Klimlin 1999 midieron ratios espectrales obteniendo factores de protección desde 3 a 6.

Otro estudio de Parisi et al. 2000 encontró ratios espectrales de 0,16 a 0,49 resultando factores de protección de 2 a 6.

Por último Diffey & Diffey 2002 midieron factores de protección de 8 a 50 para árboles solitarios y de alrededor de 100 para bosques.

3.2.- INFLUENCIA DE LOS MUROS VERTICALES SOBRE LA RADIACIÓN UV

El entorno de la edificación, contribuye a la radiación UV dispersada, y como resultado, a la exposición de las personas a la radiación UV.

En la bibliografía se puede encontrar algún estudio realizado midiendo la radiación UV espectral dispersada por varios tipos de muros verticales y colocando los aparatos de medida en posición perpendicular horizontal y vertical al muro (Parisi, 2004). Los resultados de dicho estudio se pueden ver representados en la figura 3.4.

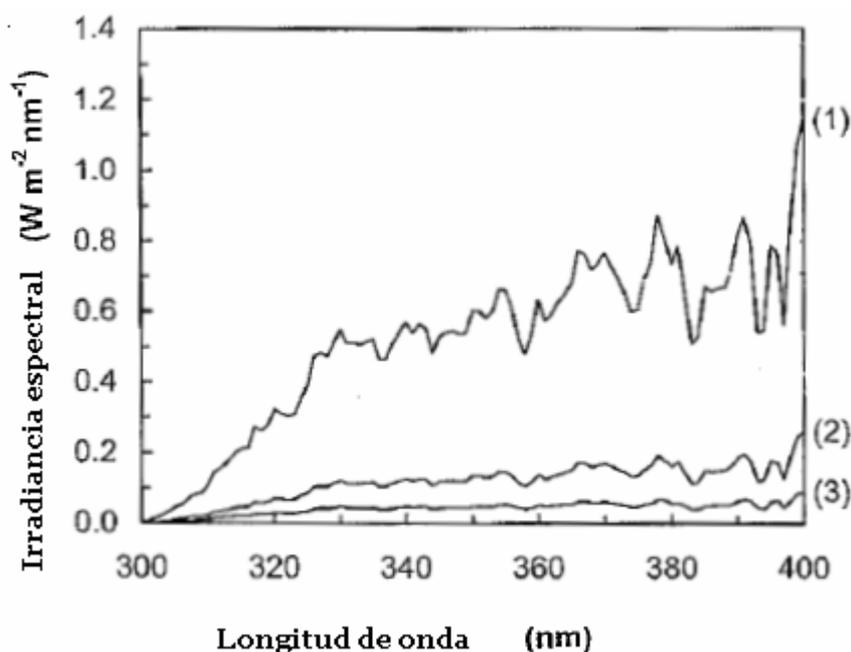


Figura 3.4.- Irradiancia espectral en (1) plano horizontal, (2) plano vertical hacia muro galvanizado y (3) plano vertical hacia muro de plástico negro (Parisi, 2004).

Este mismo estudio se ha realizado utilizando el espectro de acción del eritema para obtener resultados acerca del posible daño biológico de la radiación UV (figura 3.5).

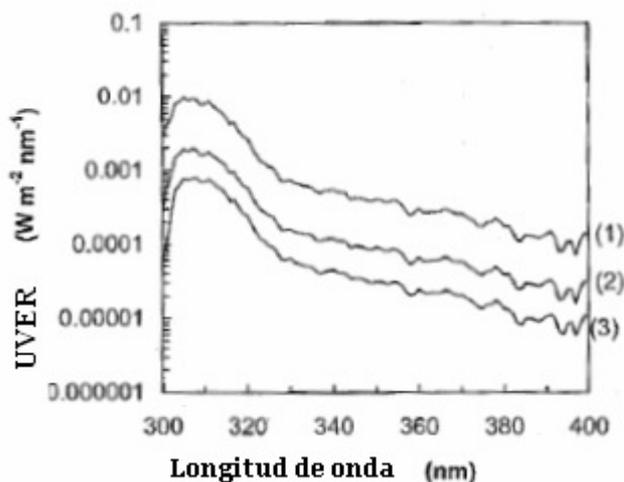


Figura 3.5.- Irradiancia espectral en el espectro de acción del eritema para (1) plano horizontal al sol, (2) frente a muro galvanizado y (3) frente a muro de plástico (Parisi, 2004).

Se puede comprobar que, además de la exposición a la radiación solar directa, una persona situada frente a un muro, está recibiendo la UV adicional reflejada y dispersada por el muro. Ello aumenta el posible daño a los ojos y la piel de las personas en el entorno de los edificios, por ejemplo.

Hay dos tipos de fenómenos de reflexión por muros: la reflexión difusa y la reflexión especular.

Reflexión difusa: la radiación incidente penetra en la superficie del muro y es retrodispersada por las moléculas de la superficie. Esto ocurre en las superficies lambertianas, que reflejan la radiación en todas las direcciones, independiente del ángulo de incidencia de la misma (no confundir con radiación difusa).

Reflexión especular: ocurre en el punto de contacto de la superficie, reflejando la radiación en direcciones específicas dependiendo del ángulo de incidencia de la radiación. No hay ni superficies perfectas lambertianas ni especulares, aunque los espejos se parecen bastante a estas últimas.

Se ha comprobado que la presencia de algunos muros metálicos puede suponer el incremento de hasta un 20% más de la UV que recibiría una persona situada frente a él respecto a la situación en que no estuviera el muro. De hecho, la irradiancia reflejada por un muro metálico puede ser de un 20% a un 50% más que si no se tiene muro enfrente, y entre un 40% y 300% mayor que respecto a muro no reflectante (de hormigón, por ejemplo). (Turner, Parisi, 2008).

Existen trabajos en los que se afirma que cuanto menor radiación difusa hay respecto a la directa, más influencia tiene la reflexión del muro. (Webb et. al., 1999).

Sin embargo, también se apunta en este último estudio, que sería necesario efectuar este tipo de análisis en diferentes épocas del año, cosa que se ha efectuado en la presente tesis.

En resumen, lo que se pone de manifiesto es que cuando más radiación se recibe es en la posición frente a un muro vertical cuya superficie es metálica, ya que un muro de superficie no reflectante ofrece un efecto de bloqueo sobre la radiación incidente (Turner, Parisi, 2008)

Para evaluar cuanta radiación extra se está recibiendo debido a la presencia del muro y compararla con el resto de situaciones, se ha efectuado en la presente tesis un estudio pormenorizado de las diferentes combinaciones de posición y de tipología de muro y en diferentes épocas del año.

3.3.- INFLUENCIA DE LAS VENTANILLAS DE LOS VEHÍCULOS SOBRE LA RADIACIÓN UV

Las ventanillas de un coche son un caso especial; llevan incorporadas, por seguridad frente a posibles impactos, una capa de laminado que puede alterar el espectro transmitido. También pueden llevar tinte que se añade o bien durante el proceso de fabricación o después mediante una película (Parisi, 2004).

Los vidrios utilizados en un vehículo actúan como barreras de parte de la radiación solar UV, principalmente de las longitudes de onda más cortas del espectro ultravioleta. Esto es, básicamente la parte UVB del espectro. Es por ello que la mayoría de estudios realizados en este campo, se centran en la componente UVA del mismo cuya influencia también puede llegar a ser dañina y favorecer la aparición de enfermedades en la piel. (Wang et. al. 2001)

Aunque las radiaciones de onda corta sean atenuadas por el efecto de filtro que ejercen los vidrios de las ventanillas, las exposiciones acumuladas de radiación en un período extenso de tiempo, deben ser consideradas. (Lavker et.al., 1995; Lavker and Kaidbey, 1997; Lowe et al., 1995; Sayre et al., 1997; Bisset et al., 1992).

De hecho, se comprueba que si la exposición es lo suficientemente prolongada, puede provocar la aparición de eritema pese la presencia de vidrio. (Parisi, 2004).

A la hora de efectuar estudios sobre la influencia de los vidrios de las ventanillas de los coches sobre la radiación UV recibida, se pueden tomar las medidas o bien en laboratorio o bien en campo.

La ventaja de efectuar el estudio en el laboratorio (Gies et. al., 1992) es el mayor control sobre variables como el ángulo de incidencia de la radiación, la eliminación del ozono y los aerosoles.... pero por otro lado, la luz de un simulador solar con lámpara de xenón puede no ser muy realista pues, por ejemplo, el ratio de UVB a UVA del Sol varía con la época del año y eso no es controlable en un simulador. Además, si se realizan las medidas en campo abierto (Kimlin, Parisi, 1998), se puede evaluar la influencia del ángulo cenital y por tanto de la orientación del Sol sobre la ventanilla del coche, lo cual tiene importancia.

Además de la influencia de las ventanillas del vehículo en la dosis recibida en el interior del mismo, hay que destacar la influencia de otros importantes factores como son las sombras que son proyectadas por los objetos que se encuentran en el interior del vehículo, como por ejemplo los mismos pasajeros (Parisi, 2004). Ello provoca que existan zonas más afectadas por la radiación UV que otras en el interior de un mismo vehículo.

En la orientación frente al parabrisa, se recibe mucha menos radiación UV que en la orientación frente a la ventanilla del conductor, debido a la naturaleza de ambos vidrios (Kimlin et. al., 2002b).

Además, si la radiación incide de manera perpendicular a la ventanilla, se recibe más radiación que si incide de manera oblicua.

Respecto a la influencia de la época del año, se comprueba que la mayor dosis recibida es para los meses de otoño, pese a que cuando mayor radiación hay es en verano (Parisi y Kimlin, 2000).

Hay que considerar el hecho de que las dosis recibidas serán menores si en la realidad se pasa menos tiempo dentro del coche y no tantos días seguidos. Pero aún así, en el caso de los taxistas y otros conductores profesionales, sí que pasan un tiempo muy elevado en el interior del vehículo.

Respecto a las medidas realizadas en cuanto a dosis eritemática recibida en el interior de un vehículo, se han efectuado estudios en diferentes tipos de coches durante dos días (Moehrle, Sobilla, Korn, 2003) concluyendo que con las ventanillas cerradas se recibe un 7% de la radiación ambiente y en cambio con las ventanillas abiertas se puede recibir más del 34% de la radiación ambiente.

Existen otros estudios que afirman que el máximo nivel de radiación eritemática se recibe cuando el Sol incide perpendicularmente sobre la ventanilla y que existe una diferencia de hasta un 50% entre la radiación recibida con las ventanillas cerradas y a pleno Sol, mientras que la diferencia entre la dosis recibida con las ventanillas abiertas y con las ventanillas cerradas puede alcanzar un factor de 4 (Kimlin, Parisi, Turnbull, 2002).

En cuanto al efecto de las ventanillas, se ha estudiado la influencia de los tipos de vidrios en la transmisión de UVA y UVB. Se ha probado con vidrio ordinario, vidrio laminado, vidrio templado, vidrio tintado, diferentes tipos de grosor del vidrio, diferentes tipos de tinte...En general, los parabrisas están hechos de vidrio laminado, que filtra casi toda la radiación, pero los vidrios de las ventanillas y los traseros están hechos de vidrio temperado, el cual puede que deje pasar algo más de radiación (Duarte, Rotter, Malvesti, Silva, 2009).

Por último, se debe mencionar que existe otro factor importante al la hora de analizar la radiación UV en el interior del vehículo y es la orientación del propio vehículo respecto al Sol. Cuando se realiza un desplazamiento con un vehículo, en general la orientación del mismo con respecto al Sol va variando, por lo tanto es una variable difícil de controlar. Por este motivo se suelen realizar este tipo de estudios con una orientación fija (Kimlin, Parisi, 2002).

Capítulo 4. SISTEMA DE MEDIDA

En el presente capítulo se describe detalladamente la metodología que se ha seguido para realizar el presente trabajo, tanto en el caso de los árboles, como en el de los muros verticales y el de los coches. Para cada caso, se detalla el lugar en que han tenido lugar las medidas, el tipo de barrera física que se ha estudiado, los días concretos en que se ha medido con sus condiciones climáticas, y además se describen los aparatos de medida que se han empleado, repasando sus características técnicas más importantes así como el modo en que han sido utilizados y las posiciones en que han sido colocados para realizar las medidas en cada caso.

4.1.- EQUIPOS EMPLEADOS

4.1.1.- DOSÍMETROS

Para realizar la medida de las dosis de radiación UV eritemática, se han empleado dosímetros Blue Line Tipo II (para los meses de febrero a octubre) y Tipo I (desde octubre a diciembre) de la casa VioSpor; BioSense, que emplean procedimientos biotecnológicos para la acumulación de radiación (film de esporas). Los dosímetros empleados se muestran en la figura 4.1.

Una vez expuestos a la radiación solar, los dosímetros fueron remitidos en distintas campañas a los laboratorios Firma BioSense en Bornheim (Alemania), que se encargaron de la lectura periódica de los dosímetros.



Figura 4.1.- Dosímetro VioSpor

Las características técnicas de los dosímetros se describen en la tabla 4.1.

Tabla 4.1.- Características técnicas de los dosímetros empleados

Principio de detección	film de esporas
Peso aproximado	15 gramos
Tamaño	32 mm de diámetro y 9 mm de altura
Consumo de energía	no requiere
Temperatura de operación	-20 a +50 °C
Humedad relativa de operación	0 a 100 %
Condiciones de almacenamiento antes y después de la exposición	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura: +4 a +25 °C • Humedad relativa: 20 a 80 %
Tiempo de almacenamiento antes y después de la exposición	3 meses
Características especiales	Protección contra agua y polvo
Respuesta espectral	Respuesta eritema CIE
Respuesta adecuada a CIE	290 a 380 nm (resultados dados en MED y J/m ²)
Respuesta angular	Corrección de coseno
Precisión de longitud de onda	± 0,00
Calibración absoluta MED	± 10
Reproducibilidad de los datos	± 5-20 (dependiente de la dosis)
Mínima y máxima dosis detectable	0,4 a 22 MED (100 a 5500 J/m ²)
Rango dinámico	Aprox. 10 ²
Máxima sensibilidad para la irradiancia	<10 ⁻⁷ para el rango espectral total; equivale a 0,05 MED/24 horas
Máxima intensidad para la irradiancia	10 ⁻² ; equivale a 1000 MED/h

Nota: En el caso de los dosímetros VioSpor, el MED equivale a la exposición de una piel de tipo II (250 J/m^2).

La calidad especial del film del dosímetro VioSpor se debe a que ha sido desarrollado con una base biológica. La elevada sensibilidad de las moléculas de las esporas inmovilizadas de tipo *Bacillus Subtilis*, produce un perfil de respuesta que corresponde con el de la piel humana para las quemaduras solares.

4.1.1.2.- Perfil de respuesta

La característica más importante de los dosímetros VioSpor empleados en esta tesis es que su perfil de respuesta es extremadamente parecido al de la piel humana (de 290 a 380 nm) como muestra la figura 4.2. Ello hace que este tipo de dosímetros sean muy adecuados para determinar y predecir interacciones eritemáticas entre la radiación UV y la piel humana.

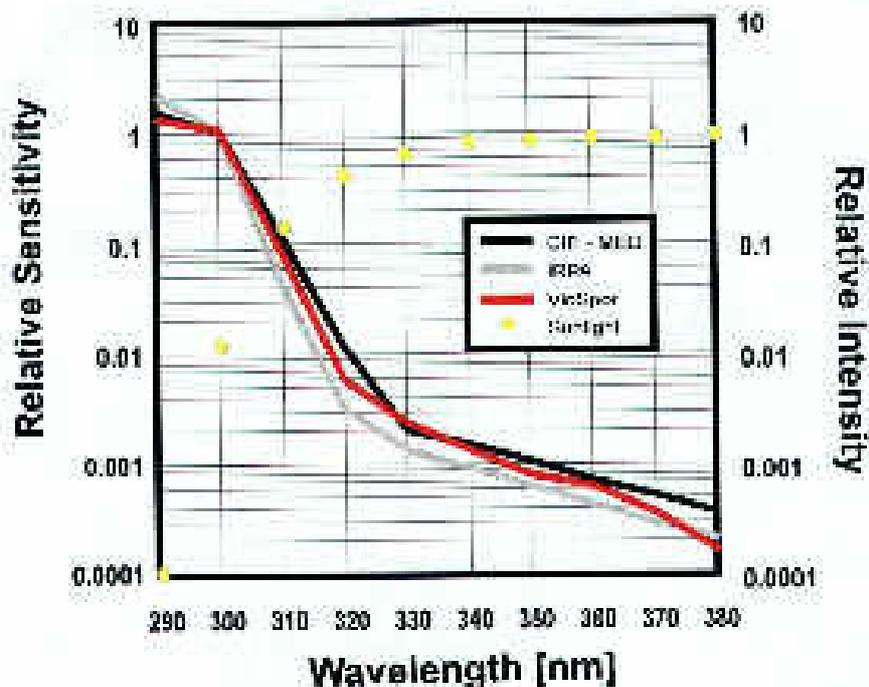


Figura 4.2.- Sensibilidad relativa de respuesta de los dosímetros empleados

4.1.1.3.- Rango de medida

En la tabla 4.2 se muestra el rango de medida de los dosímetros VioSpor en función del tipo de dosímetro:

Tabla 4.2.- Rango de medida de los dosímetros VioSpor Tipo I, II, III, IV, V y S

Tipo	I	II	III	IV	V	S
MED	0,2 - 12	0,4 - 22	0,6 - 36	2,4 - 144	6 - 360	DNA ponderado
J/m^2	50 - 3000	100 - 5500	150 - 9000	600 - 36000	1500 - 90000	0,1 - 10

Como ya se ha mencionado, en esta tesis se han empleado dosímetros de Tipo I y de Tipo II.

4.1.1.4.- Principio de medida

La generación de eritema en las células de la piel que contienen ADN es simulada por la respuesta de la película que contiene las esporas inmovilizadas.

El blanco sensible a la radiación UV del film es la espora monocapa. La superficie del film está dividida en varias áreas. Solo la parte central del film está expuesta a la radiación UV objeto de estudio. La parte más externa del film se utiliza para numerar cada dosímetro y para la calibración individual en los laboratorios (figura 4.3).

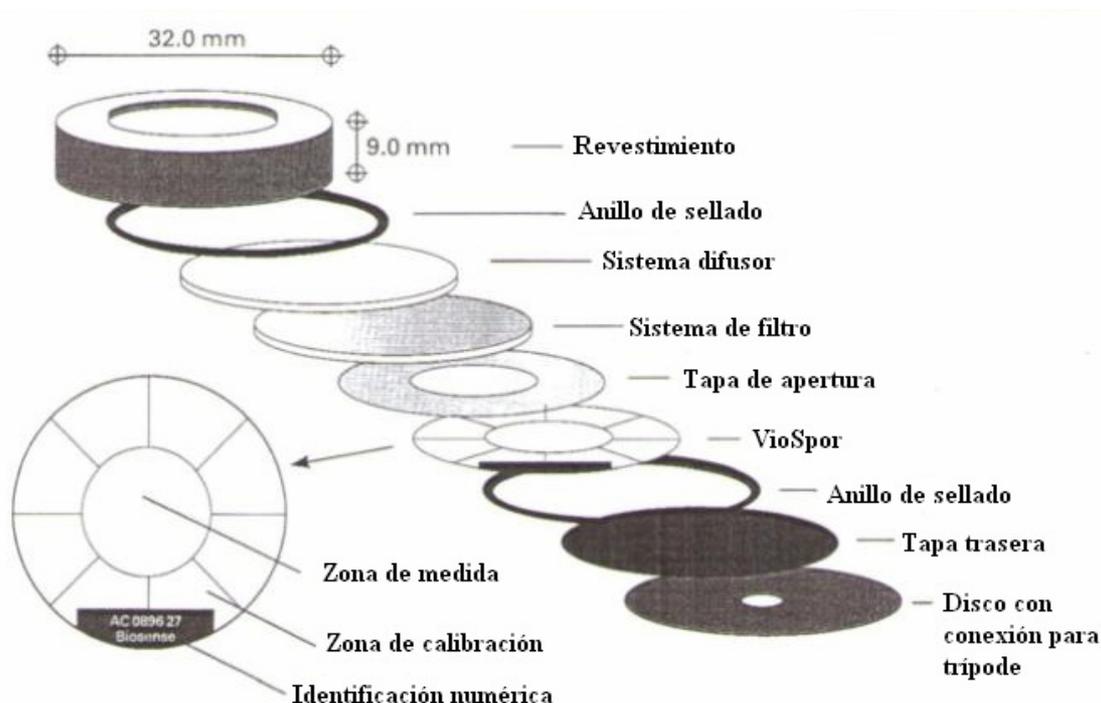


Figura 4.3.- Detalle constructivo del dosímetro (Moehrle, Garbe, 2000)

El dosímetro está compuesto de esporas secas de *Bacillus subtilis* que se encuentran inmovilizadas en capas de plástico poliéster. La zona de medida está expuesta durante la dosimetría personal y las áreas de calibración son irradiadas con diferentes dosis UV procedentes de lámparas calibradas (Moehrle, Garbe, 2000).

Después de ser irradiadas, el film de esporas es incubado en un medio de crecimiento y las proteínas sintetizadas tras la germinación de las esporas son teñidas y evaluadas con técnicas fotométricas.

Una dosis elevada de radiación UV conducirá al film a producir solo una pequeña cantidad de proteínas, porque las esporas están dañadas hasta cierto punto. Por

otro lado, un film que ha sido expuesto a una dosis baja de radiación UV, producirá una elevada cantidad de proteínas.

La respuesta de estos film de esporas es aditiva. La dosis biológicamente efectiva de cada film de esporas es calculada utilizando una curva de calibración.

La respuesta espectral de los film de esporas ha sido verificada utilizando espectrorradiómetros y resulta, como se ha comentado, muy similar a la curva del eritema humano. La respuesta es independiente de la temperatura (de -20°C a +50°C) y de la humedad.

Los films de esporas pueden ser almacenados durante varios años en una habitación a temperatura ambiente sin ninguna influencia sobre la viabilidad de las esporas.

4.1.1.5.- Comparación de los dosímetros empleados con los espectrorradiómetros

La elevada calidad del sistema de dosimetría VioSpor empleado ha sido demostrada por varias pruebas de intercomparación a nivel nacional e internacional.

La desviación estándar de $\pm 10 \%$ respecto a los valores de un espectrorradiómetro, permite concluir que los dosímetros VioSpor son utilizables en aplicaciones donde se requiere una alta calidad de medidas. A continuación se citan algunas referencias del sistema de medida de dosímetros VioSpor:

- Quintern et al (1997).
- Furusawa et al (1998).
- Garmisch-Partenkirchen (1997)

4.1.2.- RADIÓMETROS

Además de la medida de dosis eritemática efectuada con los dosímetros VioSpor, se han efectuado paralelamente medidas de irradiancia UV eritemática a lo largo de un día. Estas medidas se han llevado a cabo con un radiómetro **PMA2100** de la casa Solar Light Co (figura 4.4). El radiómetro está conectado a dos detectores modelo **PMA2102C** que se calibraron el 11/10/2006 y se volvieron a calibrar con certificado de calibración trazable al NIST (National INstitute of Standards and Technology) el 23/9/2009 en Solar Light Company Inc., 100 East Glenside Avenue, Glenside, PA 19038.

El radiómetro PMA2100 da una medida precisa de la radiación ultravioleta biológicamente ponderada. Su respuesta espectral es prácticamente la misma que el espectro de acción del eritema.

Este detector posee una respuesta angular muy parecida a la función coseno ideal (respuesta Lambertiana) haciéndolo muy adecuado para medidas de radiación difusa.



Figura 4.4.- Radiómetro PMA2102C empleado en las medidas de irradiancia eritemática

La irradiancia medida puede ser visualizada en MED/h ó $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Su elevado rango dinámico permite medidas de señal muy débil, por debajo de $0,01 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ así como registrar elevadas irradiancias del orden de $1 \text{ mW}/\text{cm}^2$.

El sensor está basado en una tecnología fosforosa utilizada en los medidores de Robertson-Berger y se ha demostrado que son extremadamente estables en períodos largos de tiempo.

A continuación se muestra, en la figura 4.5, la similitud de la respuesta obtenida con el sensor PMA2100 y el espectro de acción eritemático:

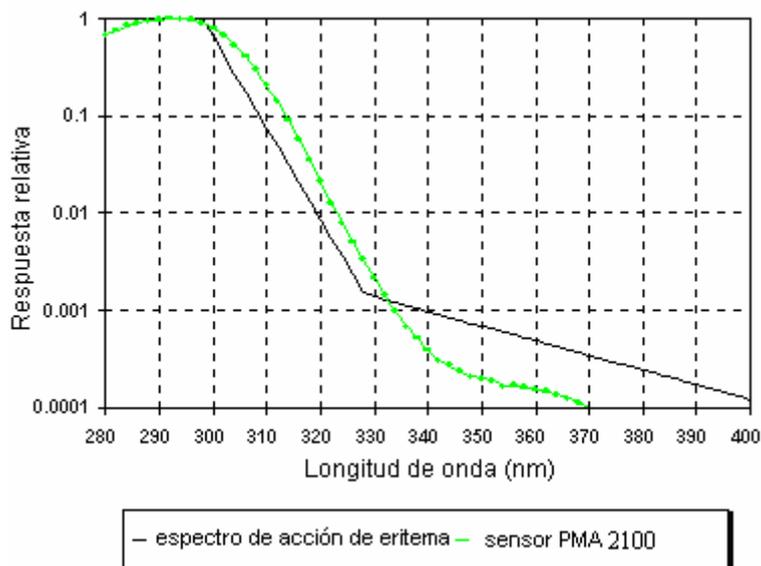


Figura 4.5.- Comparación entre la respuesta del sensor PMA2100 y el espectro de acción de eritema

4.1.2.1.- Características técnicas

Las principales características técnicas de los sensores empleados se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3.- Características técnicas de los sensores empleados

Respuesta espectral	Espectro de acción de eritema
Respuesta angular	5 % para ángulos < 60°
Rango	200 MED/h y 1,160 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Resolución visual	0,001 mW/cm^2 , 0,01 W/m^2
Medio de operación	0 a 50°C ; sin lluvia
Coefficiente de temperatura	1 % / °C para radiación solar
Cable	5 metros
Diámetro	40,6 mm
Altura	45,8 mm
Peso	200 g

El sensor PMA va acoplado a un registrador de datos PMA2100 que tiene las características técnicas que se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4.- Características técnicas del registrador de datos PMA2100

Detectores de entrada	2 sensores son 2 señales analógicas o 1 sensor con 4 señales
Rangos de entrada	$\pm 0,4 \text{ V}$, $\pm 4 \text{ V}$, auto rango
Resolución	15 μV ($\pm 0,4 \mu\text{V}$)
Rango dinámico	$> 2 \cdot 10^5$
Precisión	0,2 %
No-linealidad	Max. 0,02 % para cada rango
Periodo de muestreo	1 s (cada entrada se mide una vez por segundo)
Intervalo de almacenamiento de datos	1 minuto a 2 horas
Temperatura de operación	0 a 50 °C, sin condensación
Consumo de energía	Aprox. 80 mW
Baterías	4xAA recargables de NiCd o pilas alcalinas
Vida de baterías	>24 horas para NiCd
Energía externa	9-12 V AC o adaptador DC, 300 mA min.
Peso	510 g
Tamaño	10 x 10,5 x 4,5 cm

En la figura 4.6 se observa el sensor junto al registrador de datos empleados.



Figura 4.6.- Radiómetro PMA2100 conectado a los sensores PMA2102C empleados y a la unidad de adquisición de datos.

4.2.- METODOLOGÍA

4.2.1.- CASO I: ÁRBOLES

Las medidas efectuadas para el caso de la influencia de los árboles sobre la UVER, han tenido lugar en el Instituto de Tecnología Eléctrica, situado en el Parque Tecnológico de Paterna (Valencia) ($39^{\circ} 32' 46,72''$ N, $0^{\circ} 27' 12''$ O). La zona concreta empleada para las medidas aparece remarcada en rojo en la figura 4.7.



Figura 4.7.- Ubicación del Instituto de Tecnología Eléctrica donde se realizaron las medidas

4.2.1.1.- Descripción de los árboles objeto de estudio

Para analizar el efecto de la sombra de un árbol sobre la radiación UV eritemática recibida por las personas, se han tomado dos tipos de árbol: el primero de ellos (**árbol A** a partir de ahora) es un Pino Común, de hoja perenne, con las siguientes dimensiones:

- altura total = **11,7 metros**
- altura hasta la primera rama = **2 metros**
- anchura = **9 metros**
- diámetro del tronco = **1,30 metros**



Figura 4.8.- Árbol A

La densidad de la copa del árbol es media, según puede apreciarse en la figura 4.9.



Figura 4.9.- Densidad de la copa del árbol A

El segundo árbol (**árbol B** a partir de ahora) es un Sauce, de hoja perenne, con las siguientes dimensiones:

- altura total = **5,4 metros**
- altura hasta la primera rama = **1,6 metros**
- anchura = **7,8 metros**
- diámetro del tronco = **0,84 metros**

La densidad de la copa del árbol B es alta, como se aprecia en la figura 4.10.



Figura 4.10.- Árbol B

4.2.1.2.- Colocación de los dosímetros para la medida de la dosis eritemática

Para llevar a cabo esta parte de la tesis, se han empleado, para cada tipo de árbol, dos dosímetros: uno colocado en el centro de la sombra y otro colocado a pleno Sol y ambos en posición horizontal.

Para realizar las medidas se emplearon unos soportes de 47 cm de altura sobre el nivel del suelo y con dos pequeñas plataformas: una horizontal, ubicada en la parte más alta del soporte, y otra vertical, ubicada a 30 cm de altura sobre el nivel del suelo. Ambas plataformas tienen una longitud de 4 cm y es donde fueron colocados los correspondientes dosímetros, como se muestra en la figura 4.11.



Figura 4.11.- Soporte empleado para la colocación de los dosímetros

Para las medidas realizadas en los árboles, únicamente se han colocado los dosímetros (tanto los que estaban a pleno Sol como los que estaban en la sombra) en posición horizontal.

La posición seleccionada de los dosímetros es equivalente a la que podría adoptar una persona que se encontrara en una postura de descanso a la sombra de un árbol (en el caso de los dosímetros que se han colocado en la sombra) y de una persona que adoptara una posición de descanso pero tomando el Sol (en el caso de los dosímetros que se han colocado a pleno Sol).

Los soportes que contienen a los dosímetros se iban desplazando cada **45 minutos** aproximadamente, con un doble objetivo: por un parte se pretendía que el dosímetro que se encontraba en la sombra del árbol, estuviera siempre aproximadamente en el centro de la misma y por otra parte que el dosímetro situado a pleno Sol, se mantuviera siempre a una distancia suficiente de la sombra del árbol, de forma que ésta no le afectara.

El equivalente de estos movimientos en el caso de una persona que se encontrara descansando a la sombra de un árbol, sería el cambio de posición que esta efectuaría para que la sombra le siguiera cubriendo y de esa forma pudiera continuar disfrutando de su descanso.

Para el caso de una persona situada en posición de descanso pero tomando el Sol, estos movimientos serían equivalentes a los cambios de posición que efectuaría para quedar siempre expuesto a la radiación solar y alejado de la sombra.

a) Dosímetros en el árbol A

La colocación de los dosímetros para efectuar las medidas en el árbol A, ha sido la siguiente:

- **dosímetro colocado a la sombra:** el dosímetro se situó en posición horizontal sobre el soporte anteriormente descrito a una distancia de **4,30 metros** del tronco del árbol y en una posición central de la sombra arrojada por el árbol (figura 4.12).

- **dosímetro colocado a pleno sol:** el dosímetro se situó en posición horizontal sobre el soporte anteriormente descrito y a una distancia de **19,30 metros** del dosímetro colocado en la sombra, de manera que estuviera lo suficientemente lejos de la sombra del árbol como para que la radiación incidente no fuera afectada por la misma.



Figura 4.12.- Dosímetro colocado en la sombra del árbol A

b) Dosímetros en el árbol B

La colocación de los dosímetros para efectuar las medidas en el árbol B ha sido la siguiente:

- **dosímetro colocado a la sombra:** el dosímetro se situó en posición horizontal sobre el soporte anteriormente descrito a una distancia de **1,80 metros** del tronco del árbol y en una posición central de la sombra arrojada por el árbol (figura 4.13).
- **dosímetro colocado a pleno sol:** se empleó el mismo dosímetro que para el caso del árbol A.



Figura 4.13.- Dosímetro colocado a la sombra del árbol B

4.2.1.3.- Medidas con dosímetros

La metodología que se siguió fue la medida en días relativamente despejados desde Febrero de 2009 hasta Diciembre de 2009 sobre el árbol A y el árbol B.

Las medidas se efectuaron entre las 9:30 y las 15:30 aproximadamente (hora local). Con la metodología propuesta, se colocan **tres dosímetros**,

- uno a pleno sol
- otro bajo la sombra del árbol A
- otro bajo la sombra del árbol B

Cada día de medida se obtenían datos de radiación tanto del árbol A como del árbol B y de pleno sol.

A continuación, se muestra en la tabla 4.5 una relación de los días en que se efectuaron las medidas, así como las condiciones atmosféricas más relevantes para cada uno de ellos.

Tabla 4.5.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros en el caso de árboles (datos climáticos proporcionados por CEAM (Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo)).

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Cond. Cielo (okta)
febrero	18	9:40	16:50	13,83	35,21	2,67	530,92	364	61,96	1
	19	9:30	14:40	11,81	64,00	2,30	476,84	355	61,65	2
	23	9:35	16:40	13,27	54,11	2,56	537,30		60,42	1
	26	9:40	16:55	14,22	62,31	1,36	482,98	342	59,47	2
	27	9:45	14:30	14,38	50,80	1,49	523,53	353	59,14	3
marzo	5	10:00	14:00	12,50	43,87	8,20	537,03		57,17	4
	6	10:10	14:45	12,78	30,19	9,84	611,13	383	54,13	1
	9	9:45	16:40	16,10	48,90	3,37	620,55	316	55,83	1
	10	9:35	16:50	15,38	56,40	2,36	614,79	338	55,49	1
	13	9:30	14:40	18,59	44,24	2,62	634,23		54,46	1
	24	9:30	14:00	20,50	30,44	2,50	634,10	332	50,70	1
abril	21	10:40	15:20	20,22	35,30	2,55	733,35		41,84	1
	27	9:35	14:25	19,55	26,79	4,36	819,39	391	40,22	1
	29	9:45	15:45	21,46	30,24	3,19	827,61	351	39,71	1
mayo	4	9:50	16:50	21,77	35,08	2,66	825,74	351	38,51	1
	7	9:30	15:45	26,90	30,68	3,24	819,36		37,84	1
	15	9:45	14:45	20,96	29,07	3,43	864,85	359	36,26	1
	18	10:05	15:50	20,56	58,20	4,60	851,39		35,74	1
	26	9:45	16:10	25,55	38,18	3,97	778,28	332	34,57	2
	27	9:50	15:30	21,45	41,38	3,61	794,79	338	34,44	2
	28	9:50	14:00	25,48	29,23	2,19	788,16	344	34,32	1
	29	9:40	14:40	23,86	43,11	4,12	799,52	345	34,21	1
junio	1	9:50	15:55	23,28	54,42	3,32	781,50		33,89	1
	10	9:45	15:30	29,35	25,97	3,91	790,85	319	33,20	1
	17	9:30	15:30	25,87	56,60	3,61	836,18		32,94	1
julio	2	9:40	15:00	28,09	61,33	2,69	651,62	309	33,18	3
	7	10:10	14:50	26,15	64,07	4,14	696,36	320	33,50	1
	17	9:40	15:00	28,49	61,78	4,28	781,80		34,50	1
	20	9:45	14:30	25,66	60,45	3,55	749,33	302	34,90	2
	24	9:40	14:50	33,62	27,33	3,53	773,61		35,50	1
	30	9:45	14:50	27,60	58,36	3,91	726,76	301	36,53	2

septiembre	9	9:45	16:00	25,12	58,45	2,94	596,55	304	47,19	2
	11	9:35	14:50	25,75	47,21	2,55	597,39	304	48,51	2
	16	9:20	15:00	20,55	54,68	2,71	555,47	320	49,85	2
	21	9:30	15:10	22,44	43,58	2,26	621,97	334	51,55	1
	22	10:30	15:00	23,91	47,15	2,90	477,21	317	51,90	3
	24	9:30	15:40	23,86	51,91	1,88	590,26	307	52,58	1
	25	10:30	15:00	25,00	44,12	2,78	589,32	304	52,92	1
octubre	1	9:30	16:20	23,67	57,39	2,13	524,84	302	54,13	2
	19	10:15	16:10	17,80	63,86	1,77	485,08		60,89	2
	21	10:10	16:00	18,15	46,45	7,13	496,25		61,50	1
	22	10:15	16:00	18,29	55,66	8,18	513,11	299	61,74	1
	23	10:15	15:00	20,04	42,62	3,46	477,65	272	62,11	1
	26	9:35	15:10	22,86	58,05	1,96	466,31	273	62,99	1
noviembre	27	9:40	15:30	20,99	65,16	1,75	454,28	267	63,28	1
	2	9:35	15:25	23,22	41,58	2,67	423,82	289	64,93	1
	10	9:40	15:15	14,59	34,93	3,27	346,70	274	66,90	3
	12	9:30	15:30	19,29	45,67	2,01	405,93	255	67,35	2
diciembre	26	9:50	15:15	18,27	50,56	2,65	358,42		69,94	2
	1	9:50	15:10	12,13	32,05	6,46	365,49		70,61	1
	3	10:10	14:00	15,32	46,86	5,00	266,50	305	70,76	4
	9	9:50	15:10	14,06	58,53	1,95	319,39	270	71,29	1

donde:

Hora inicio: hora local en que comienzan las medidas.

Hora fin: hora local en que finalizan las medidas.

T media: temperatura promedio entre los valores medios diezminutales entre las 9:30 y las 15:30, hora local (°C).

Hr: humedad relativa promedio entre los valores medios diezminutales entre las 9:30 y las 15:30, hora local (%).

Vvto media: velocidad del viento promedio entre los valores medios diezminutales entre las 9:30 y las 15:30, hora local (m/s).

Irrad. Global: irradiancia global promedio entre los valores medios diezminutales entre las 9:30 y las 15:30, hora local (W/m²).

Ozono: concentración diaria media de ozono (DU) proporcionada por el Total Ozone Mapping Spectrometer (<http://jwocky.gsfc.nasa.gov/>).

θ_H: valor medio del ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre la superficie horizontal para cada día de medida y en el intervalo de tiempo entre las 9 horas y las 15 horas. La expresión empleada para su cálculo ha sido la que muestra la expresión 4.1.

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \omega \cos \varphi \quad (4.1)$$

siendo:

δ = declinación, que se calcula según la expresión 4.2.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin [(360/365) \cdot (n+284)] \quad (4.2)$$

siendo n el día juliano (el 1 de enero es día 1 juliano y el 31 de diciembre es día 365 juliano)

φ = latitud del lugar, en nuestro caso 39° 32' 46,72"

ω = el ángulo horario calculada sabiendo que a cada hora le corresponde un giro de 15° en la bóveda con la expresión 4.3.

$$\omega = (12 - \text{hora solar}) \cdot (15) \quad (4.3)$$

Cond. Cielo: estado del cielo entre las 9:30 y las 15:30 horas locales. Okta es la unidad utilizada en meteorología para describir el estado del cielo en cuanto a nubosidad. Las condiciones del cielo se estiman en términos de cuantos octavos del cielo están oscurecidos por las nubes.

El rango de medida va desde 0 oktas (cielo completamente despejado) hasta 8 oktas (cielo completamente cubierto). El dato es aproximado.

La estación meteorológica del CEAM, que ha proporcionado los datos de clima, se encuentra a 100 metros del Instituto de Tecnología Eléctrica, que es donde se han realizado las medidas.

4.2.1.4.- Medida de la irradiancia diaria con radiómetros

Para llevar a cabo esta parte de medidas, se han empleado **dos sensores**: uno colocado en el centro de la sombra y otro colocado a pleno Sol y ambos en posición horizontal. Los sensores están conectados a un radiómetro **PMA2100** que registra simultáneamente los datos de ambos sensores.

Para realizar las medidas, se emplearon los mismos soportes que se utilizaron para los dosímetros, de 47 cm de altura sobre el nivel del suelo y con dos pequeñas plataformas: una horizontal ubicada en la parte más alta del soporte, y otra vertical ubicada a 30 cm de altura sobre el nivel del suelo. Ambas plataformas tienen una longitud de 4 cm y es donde fueron colocados los correspondientes sensores como se muestra en la figura 4.14.



Figura 4.14.- Equipo empleado para la medida de la irradiancia UVER

Para las medidas realizadas, únicamente se han colocado los sensores (tanto los que estaban a pleno sol como los que estaban en la sombra) en posición horizontal.

La metodología y la colocación de los sensores de irradiancia son análogas al caso de medidas con los dosímetros.

Se midió en días relativamente despejados desde Febrero de 2009 hasta Diciembre de 2009 en el árbol A y el árbol B.

Las medidas se efectuaron entre las 9:30 y las 15:30 aproximadamente (hora local). Debido a que solo se disponía de dos sensores y hay tres posiciones objeto de estudio (pleno Sol, sombra del árbol A y sombra del árbol B) y en función de las condiciones logísticas y la disponibilidad de tiempo suficiente para vigilar los cambios de posición de los aparatos, se dieron tres tipos de días de medida:

- **tipo 1:** se midió en las sombras de los dos árboles y a pleno Sol de la siguiente forma: el sensor colocado al Sol se dejaba fijo durante todo el día y el otro sensor se iba colocando cada hora alternativamente en la sombra del árbol A y del árbol B respectivamente.

- **tipo 2:** se midió en la sombra de un árbol y a pleno Sol de la siguiente manera: el sensor colocado a pleno Sol se dejaba fijo durante todo el día y el otro sensor se colocaba bajo la sombra de uno de los dos árboles y se iba modificando su posición cada 45 minutos aprox. para que continuara en la sombra, pero sin cambiarlo de árbol.

- **tipo 3:** se midió con un solo sensor colocado o bien a pleno Sol y fijo durante todo el día o bien bajo la sombra de uno de los dos árboles y modificando su posición para que continuara en la sombra pero sin cambiarlo de árbol.

Se trató que cuando los días en que se medía en el árbol A y en el árbol B eran diferentes, tuvieran características similares en cuanto a condiciones atmosféricas.

Debido a las complicaciones logísticas que implicaban colocar y velar por la seguridad de los sensores durante todo el día de medida para evitar accidentes, solo se midió en algún día característico de cada época del año, de tal forma que resultaron los días de medida que muestra la tabla 4.6.

Tabla 4.6.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en el caso de árboles

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Cond. Cielo (okta)
abril	21 (A,B,S)	9:40	14:26	20,22	35,30	2,55	733,35		41,84	1
	27 (A,B,S)	9:40	14:26	19,55	26,79	4,36	819,39	391	40,22	1
mayo	27 (A,S)	9:50	15:28	21,45	41,38	3,61	794,79	338	34,44	2
junio	1 (B,S)	9:56	16:00	23,28	54,42	3,32	781,50		33,89	1
	17 (A)	9:32	15:33	25,87	56,60	3,61	836,18		32,94	1
	26 (S)	9:10	14:53	28,70	29,36	4,70	820,04	320	32,95	1
julio	7 (A)	11:06	14:34	26,15	64,07	4,14	696,36	320	33,50	1
	17 (B)	11:06	14:34	28,49	61,78	4,28	781,80		34,50	1
	20 (S)	11:06	14:34	25,66	60,45	3,55	749,33	302	34,90	2
noviembre	9 (A,S)	9:40	15:12	16,43	32,64	4,97	426,89	274	66,67	1
	12 (B,S)	11:08	15:28	19,29	45,67	2,01	405,93	255	67,35	2

donde:

- (A) medidas realizadas en la sombra del árbol A
- (B) medidas realizadas en la sombra del árbol B
- (S) medidas realizadas a pleno sol

4.2.2.- CASO II: MUROS VERTICALES

Las medidas para el caso de la influencia de los muros verticales sobre la UVER, tuvieron lugar en el muro perimetral del edificio del Instituto de Tecnología Eléctrica, situado en el Parque Tecnológico de Paterna (39° 32' 46,72" N, 0°, 27' 12" O). La zona se encuentra marcada en la figura 4.15 y tiene una orientación Sureste, debido a que la orientación Sur es la que más cantidad de radiación recibe en el hemisferio Norte, por lo que se buscó el muro perimetral del edificio que más se aproximara a dicha orientación.

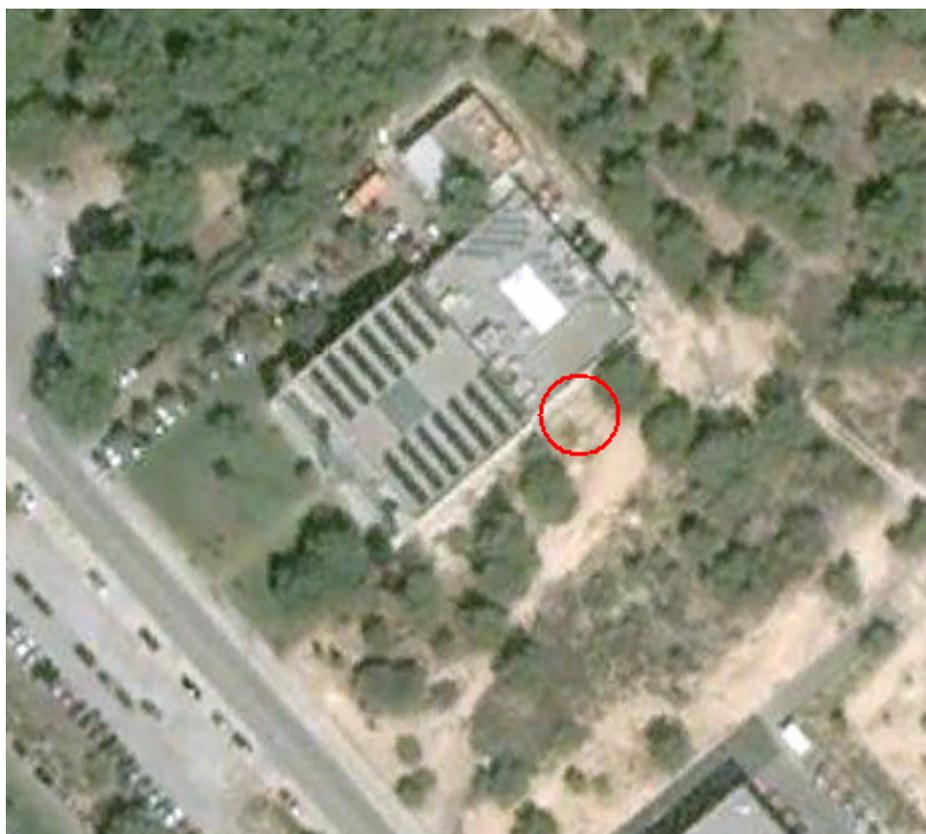


Figura 4.15.- Situación del muro donde se efectuaron las medidas

4.2.2.1.- Descripción de los muros objeto de estudio

Para realizar el estudio, se tomaron dos tipos de muros. Por un lado, un muro de bloques de hormigón acabado con mortero bastardo (con cal y arena en su composición) que se llamará **muro de hormigón** en adelante y por otro un muro vertical de chapa de acero, que se llamará **muro metálico** en adelante, dispuestos de la siguiente forma: sobre el muro de hormigón perimetral de edificio del Instituto de Tecnología Eléctrica de 8,5 metros de longitud y 1,10 metros de altura, se colocó la chapa vertical de 2 metros de longitud, 1,5 metros de altura y espesor 2,5 mm sujeta a un mallado metálico situado encima del muro de hormigón por medio de un cordaje que la mantenía en posición vertical en todo momento e independiente de las condiciones climáticas exteriores.

De esta forma, la superficie del muro perimetral que estaba cubierta por la chapa metálica fue una zona de estudio (2 x 1,5 metros) que simulaba una valla metálica utilizada en la construcción, siendo la zona de estudio del muro de hormigón aquella

que quedaba libre tras colocar la chapa metálica sobre el muro perimetral (3,43 x 1,10 metros) y que simulaba el muro exterior de un edificio.

La disposición de ambas zonas se puede ver con claridad en las figuras 4.16 y 4.17.



Figura 4.16.- Dimensiones y disposición del muro de metal



Figura 4.17.- Dimensiones y disposición del muro de hormigón

El muro perimetral del edificio del Instituto de Tecnología Eléctrica donde se efectuaron las medidas, se encontraba en una zona abierta y lo suficientemente lejos de otras estructuras como para que estas no afectaran a las medidas realizadas.

4.2.2.2.- Colocación de los dosímetros para la medida de la dosis eritemática

Para realizar las medidas, se emplearon unos soportes idénticos a los empleados en el caso de los árboles, de 47 cm de altura sobre el nivel del suelo y con dos pequeñas plataformas: una horizontal ubicada en la parte más alta del soporte, y otra vertical ubicada a 30 cm de altura sobre el nivel del suelo. Ambas plataformas tienen una longitud de 4 cm y es donde fueron colocados los correspondientes dosímetros como se muestra en la figura 4.18.

La orientación del dosímetro vertical fue en dirección al muro.



Figura 4.18.- Soporte utilizado para la colocación de los dosímetros

La razón de escoger este tipo de soportes en lugar de un maniquí, se debió al hecho de aumentar la estabilidad del soporte, tratando en todo momento de que las posiciones de los dosímetros en la estructura montada fueran equivalentes a las posiciones que tendrían en un maniquí que simulase la cabeza de una persona, como se puede apreciar en la figura 4.19.



Figura 4.19.- Posiciones equivalentes del maniquí y del soporte empleado

La colocación relativa entre los soportes de los dosímetros y los muros objeto de estudio fue tal que los dosímetros estuvieran orientados hacia el muro. La distancia entre el soporte y los muros fue de **66 cm**. Esta distancia fue escogida debido a que es la distancia aproximada a la que se situaría una persona de un muro vertical en el caso en que se encontrara trabajando en el edificio, por ejemplo en la construcción del propio muro o de una valla.

La distancia entre el soporte situado frente al muro metálico y el soporte situado frente al muro de hormigón fue de **2,6 metros**, suficiente para que no recibieran influencias de ningún tipo de sombras. La disposición de los soportes en cada zona de trabajo se puede observar en las figuras 4.20 y 4.21.



Figura 4.20.- Soporte colocado frente a muro metálico



Figura 4.21.- Soporte situado frente a muro de hormigón

Por último, se colocó un tercer soporte, alejado suficientemente de los muros y con las mismas dimensiones y orientación de los dosímetros que los otros dos, pero sin ningún obstáculo enfrente de él. Este tercer soporte se puede apreciar en la figura 4.22.



Figura 4.22.- Soporte situado sin muro enfrente

4.2.2.3.- Medidas con dosímetros

Se ha medido a lo largo de todo el año 2009, dividiendo las campañas de medida en las siguientes épocas:

- febrero-marzo-abril
- mayo-junio
- julio-septiembre
- octubre-noviembre-diciembre

En todos los días de medida las condiciones atmosféricas fueron de cielo relativamente despejado.

Concretamente las medidas tuvieron lugar en los días del año que muestra la tabla 4.7.

Tabla 4.7.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros en el caso de muros verticales.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
febrero	27	9:40	14:30	14,38	50,80	1,49	523,53	353	59,14	51,04	3
marzo	5	10:00	14:00	12,50	43,87	8,20	537,03		57,17	53,09	4
	6	10:10	14:45	12,78	30,19	9,84	611,13	383	54,13	51,11	1
	9	9:45	13:50	16,10	48,90	3,37	620,55	316	55,83	54,50	1
	10	9:35	15:15	15,38	56,40	2,36	614,79	338	55,49	54,86	1
	13	9:30	14:40	18,59	44,24	2,62	634,23		54,46	55,93	1
	16	9:30	13:50	16,39	52,36	3,47	624,92	317	53,41	57,00	1
mayo	4	9:50	15:30	21,77	35,08	2,66	825,74	351	38,51	73,79	1
	6	9:45	15:35	25,41	32,12	2,78	826,48	344	38,06	74,33	1
	15	9:45	14:45	20,96	29,07	3,43	864,85	359	36,26	76,55	1
	18	10:05	15:50	20,56	58,20	4,60	851,39		35,74	77,20	2
junio	15	10:10	15:30	28,03	46,77	3,04	765,34		32,99	80,74	3
	22	10:25	15:30	25,45	60,38	3,50	725,09		32,90	80,87	3
julio	22	10:10	14:45	28,90	60,17	1,94	693,54	304	35,19	77,89	2
	23	10:10	14:55	33,41	24,49	8,13	789,93	298	35,34	77,70	1
	28	10:10	14:45	26,47	61,69	3,45	722,84	301	36,17	76,66	2
septiembre	11	10:00	14:50	25,75	47,21	2,55	597,39	304	48,51	62,36	2
	21	9:30	15:20	22,44	43,58	2,26	621,97	334	51,55	59,04	1
	22	10:30	15:00	23,91	47,15	2,90	477,21	317	51,90	58,68	3
	24	9:30	15:40	23,86	51,91	1,88	590,26	307	52,58	57,94	1
	25	10:30	15:00	25,00	44,12	2,78	589,32	304	52,92	57,57	1
octubre	1	9:30	16:20	23,67	57,39	2,13	524,84	302	54,98	55,39	2
	19	10:15	16:10	17,80	63,86	1,77	485,08		60,89	49,24	2
	21	10:10	16:00	18,15	46,45	7,13	496,25		61,50	48,61	1
	22	10:15	15:15	18,29	55,66	8,18	513,11	299	61,74	48,24	1
	27	9:40	15:30	20,99	65,16	1,75	454,28	267	63,28	46,81	1
noviembre	4	10:15	15:30	19,95	46,62	7,44	425,25		65,45	44,63	2
	9	9:40	15:15	16,43	32,64	4,97	426,89	274	66,67	43,41	2
	10	9:40	15:15	14,59	34,93	3,27	346,70	274	66,90	43,18	3
	27	9:50	15:00	17,74	54,12	3,35	337,39	275	70,09	40,06	4
diciembre	10	9:40	15:10	13,90	56,74	1,88	316,50		71,20	38,47	1

donde:

Θ_V :es el valor medio del ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre la superficie vertical del muro para cada día de medida y en el intervalo de tiempo entre las 9 horas y las 15 horas. Se ha empleado la expresión 4.4 para su cálculo.

$$\cos \theta = \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen}(\varphi - \beta) + \operatorname{cos} \delta \operatorname{cos} \omega \operatorname{cos}(\varphi - \beta) \quad (4.4)$$

siendo:

δ = declinación

φ = latitud del lugar

β = el ángulo de inclinación de la superficie (90° en el caso de superficie vertical)

ω = el ángulo horario

El resto de parámetros se han explicado en el apartado 4.2.1.

La metodología de ensayo fue la siguiente: los dosímetros se colocaban en sus respectivas posiciones y se destapaban en cuanto el sol comenzaba a incidir sobre los mismos. Este momento variaba a lo largo del año debido al cambio del ángulo cenital solar. Los soportes se dejaban en la misma orientación a lo largo de todo el día y se retiraban cuando el sol comenzaba a dejar de incidir sobre los muros objeto de estudio.

4.2.2.4.- Medida de la irradiancia diaria con radiómetros

Para llevar a cabo esta parte de medidas, se han empleado **dos sensores**: uno colocado en posición horizontal y otro colocado en posición vertical. Los sensores están conectados a un radiómetro **PMA2100** que registra simultáneamente los datos de ambos sensores.

Los soportes empleados son idénticos y se han explicado en el caso de los árboles. Las plataformas de los mismos tienen una longitud de **4 cm** y es donde fueron colocados los correspondientes sensores como se muestra en la figura 4.23.



Figura 4.23.- Equipo de medida empleado para la medida de la irradiancia frente a los muros

Para las medidas realizadas, se han colocado los sensores en posición horizontal y vertical con la misma orientación que los soportes con los dosímetros explicados anteriormente.

La colocación de los sensores de irradiancia son análogas al caso de medidas con los dosímetros salvo por el hecho de que en este caso se contaba solo con dos sensores.

Se midió en días relativamente despejados de Abril y Noviembre de 2009.

La medidas se efectuaron entre las 9:30 y las 15:30 aproximadamente (hora local). Debido a que solo se disponía de dos sensores y hay tres posiciones objeto de estudio (frente a muro de hormigón, frente a muro metálico y sin muro) y en función de

las condiciones logísticas y la disponibilidad de tiempo suficiente para vigilar los cambios de posición de los aparatos, se dieron dos tipos de días de medida:

- **tipo 1:** se midió frente al muro de hormigón y frente al muro metálico, colocando cada hora el soporte con los dos sensores frente a un tipo de muro.

- **tipo 2:** se midió con los dos sensores colocados durante todo el día o bien frente al muro de hormigón, o bien frente al muro metálico o bien en la posición en que no había muro enfrente.

Se trató de que cuando los días en que se medía eran distintos, tuvieran características similares en cuanto a condiciones atmosféricas.

Debido a las complicaciones logísticas que implicaban colocar y velar por la seguridad de los sensores durante todo el día de medida para evitar accidentes, solo se midió en algún día característico de cada época del año, de tal forma que resultaron los días de media que se indican en la tabla 4.8.

Tabla 4.8.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en el caso de muros verticales

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Radiac. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
abril	14 (H,M)	9:33	14:44	21,01	33,93	3,35	752,19		43,88	67,53	1
	22 (S)	9:36	14:44	22,03	29,19	2,13	786,24	352	41,56	70,19	1
noviembre	16 (M)	9:36	13:46	23,75	34,71	2,47	376,50		68,20	41,91	1

donde:

(H): frente a muro de hormigón

(M): frente a muro metálico

(S): sin muro enfrente

4.2.3.- CASO III: VEHÍCULOS

Las medidas para el caso de la influencia de las ventanillas de los vehículos sobre la UVER, tuvieron lugar en la parcela del edificio del Instituto de Tecnología Eléctrica situado en el Parque Tecnológico de Paterna (39° 32' 46,72" N, 0°, 27' 12" O y 118 metros de altitud sobre el nivel del mar). La zona se encuentra marcada en la figura 4.24.



Figura 4.24.- Situación de la zona donde se efectuaron las medidas en el coche

Se empleó una zona despejada de la parcela, de forma que se intentó minimizar, dentro de las posibilidades logísticas, la influencia de los objetos próximos.

4.2.3.1.- Descripción del vehículo objeto de estudio

Para el estudio se empleó un coche modelo **Peugeot 206 4-1360 cc., 1.4 l.** del año 2000, de 3 puertas, como el que se muestra en la figura 4.25. Se trata de un utilitario de pequeño tamaño y con unas características muy habituales en un porcentaje elevado de automóviles de uso urbano.



Figura 4.25.- Vehículo empleado en el estudio

Las dimensiones del vehículo son 3,8 metros de largo, 1,6 metros de ancho y 1,4 metros de alto, como se muestra en la figura 4.26.

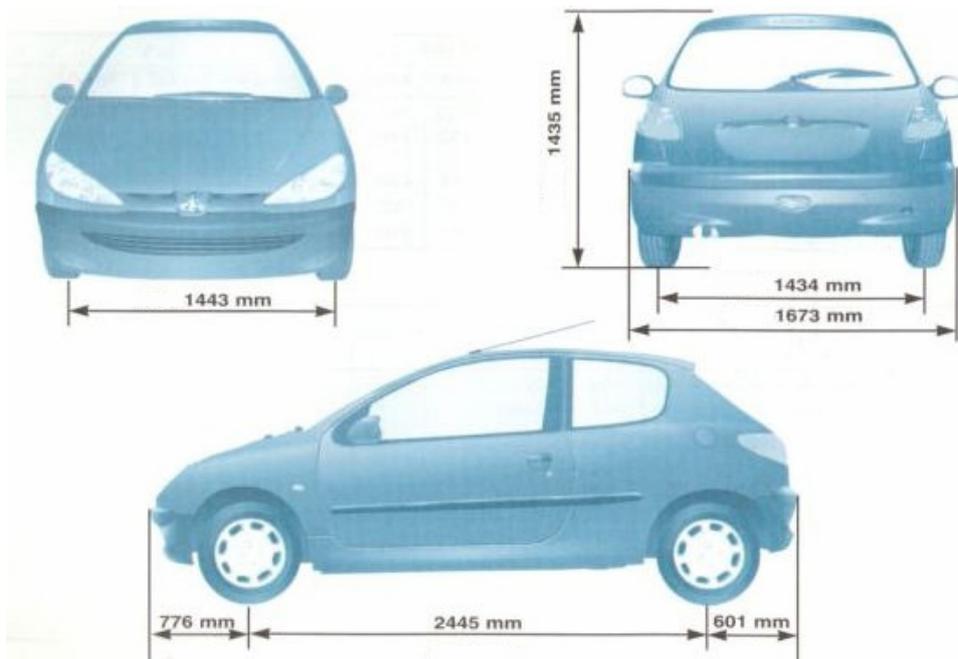


Figura 4.26.- Dimensiones del vehículo

Las ventanillas laterales delanteras, el parabrisas y la ventana trasera son de tipo **SEKURIT E2**. Las ventanillas laterales traseras son de tipo **SPLINTEX E6**.

El código **E** hace referencia a la normativa europea de seguridad. El número **2** hace referencia al país en que ha recibido la homologación. El 2 es el código de Francia y el 6 de Bélgica.

El tipo de vidrio para las ventanillas laterales, el parabrisas y la ventana trasera es temperado. Este tipo de vidrio se caracteriza porque se obtiene del calentamiento gradual del vidrio y posterior enfriamiento brusco en un horno de temperado. Esto le proporciona una garantía de seguridad. Son necesarios impactos muy violentos para romperlos y en caso de hacerlo, se descompondrían en pequeños fragmentos (Duarte, Rotter, Malvesti & Silva, 2009).

Se han tomado medidas tanto en el interior del vehículo como fuera de él para efectuar las correspondientes comparaciones. La posición de las ventanillas fue cambiando de totalmente abiertas a totalmente cerradas para cada día de medida. Para que se pudieran comparar las medidas realizadas, se trató, dentro de nuestras posibilidades, de que los días de ensayo con las ventanillas abiertas y cerradas, tuvieran similares condiciones atmosféricas.

4.2.3.2.- Colocación de los dosímetros para la medida de la dosis eritemática

Para realizar las medidas en el interior del vehículo, tanto para el caso de las ventanillas cerradas como abiertas, se seleccionaron 8 posiciones, en cada una de las cuales iba colocado un dosímetro del mismo tipo que el resto de dosímetros utilizados para la realización de esta tesis.

Las posiciones seleccionadas para el estudio fueron:

- horizontal en la cabeza del conductor (**HC**, en adelante).
- vertical dirigida hacia la ventanilla del conductor (**LC**, en adelante)
- vertical dirigida hacia el parabrisas en la cabeza del conductor (**VC**, en adelante).
- horizontal en el reposa brazos del conductor (**BC**, en adelante).
- horizontal en la cabeza del pasajero (**HP**, en adelante).
- vertical dirigida hacia la ventanilla del conductor pero en la cabeza del pasajero (**LP**, en adelante).
- vertical dirigida hacia el parabrisas en la cabeza del pasajero (**VP**, en adelante).
- horizontal en el reposa brazos del pasajero (**BP**, en adelante).
- horizontal al exterior del coche (**HS**, en adelante)
- vertical al exterior del coche (**VS**, en adelante)

Debido a la complicación logística que suponía el hecho de colocar dos maniquís con el tamaño de una persona real en el interior del vehículo, se optó por emular la posición de una persona desplazando hacia delante **25 cm** los asientos delanteros, de forma que ocuparan en el espacio la misma posición que lo harían el cuerpo del conductor y el pasajero respectivamente (ver figura 4.27). Hay que reseñar el hecho de que en España la posición del conductor está ubicada en la parte izquierda del vehículo.



Figura 4.27.- Desplazamiento del asiento para simular la zona ocupada por una persona

Una vez desplazados ambos asientos, se procedió a la colocación sobre los mismos de **8 tiras** rectangulares de fieltro de **5 cm** de longitud donde se pegaron los correspondientes dosímetros. Debido a que el peso de los dosímetros colocados en posición vertical podía llegar a despegar los fieltros del asiento, se fijaron todos al asiento por medio de unos pequeños clavos, de forma que se aseguraba la permanencia de los dosímetros independientemente de las condiciones externas de viento, movimiento del coche, etc...

Las distancias de los dosímetros a las ventanillas circundantes fue la siguiente:

- dosímetros del lado del conductor: el horizontal se encontraba a 17 cm del techo del vehículo, el vertical a 85 cm del parabrisas, a 35 cm de la ventanilla lateral del conductor y a 100 cm de la ventanilla lateral del pasajero. Por último, el dosímetro lateral se encontraba a 24 cm de la ventanilla del conductor.
- dosímetros de la zona del pasajero: el horizontal se encontraba a 17 cm del techo del vehículo, el vertical se encontraba a 85 cm del parabrisas, a 35 cm de la ventanilla lateral del pasajero y a 100 cm de la ventanilla lateral del conductor. Por último, el dosímetro lateral se encontraba a 88 cm de la ventanilla del conductor.

La separación entre el asiento del conductor y el asiento del pasajero fue de **18 cm**.

En la figura 4.28 y 4.29 se puede observar la disposición de los dosímetros tanto de la zona del conductor como del pasajero.



Figura 4.28.- Disposición de los dosímetros del conductor

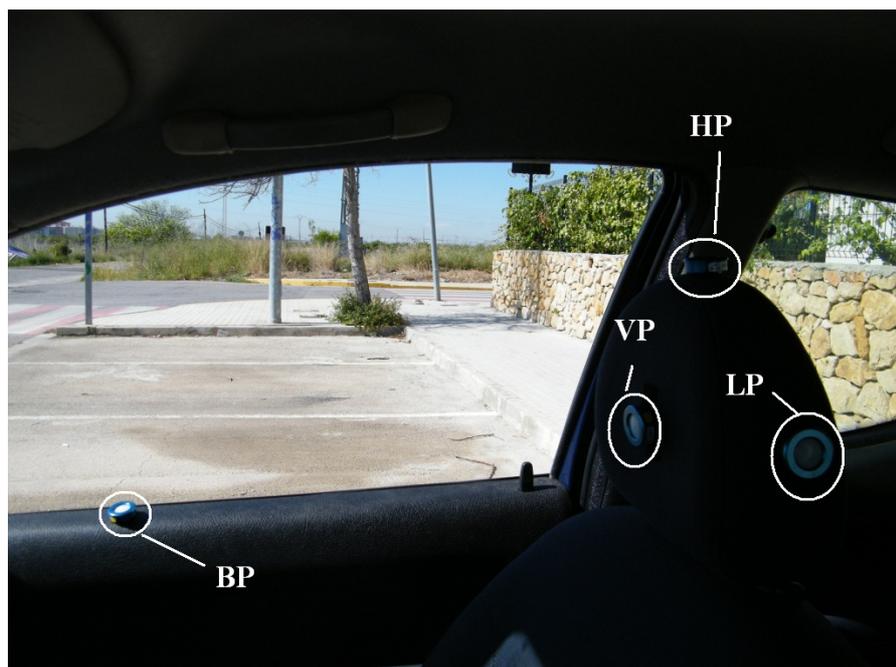


Figura 4.29.- Colocación de los dosímetros del pasajero

Para realizar las medidas al exterior del vehículo, se emplearon unos soportes de 47 cm de altura sobre el nivel del suelo y con dos pequeñas plataformas: una horizontal ubicada en la parte más alta del soporte, y otra vertical ubicada a 30 cm de altura sobre el nivel del suelo. Ambas plataformas tienen una longitud de 4 cm y es donde fueron colocados los correspondientes dosímetros, como se muestra en la figura 4.30.



Figura 4.30.- Soporte utilizado para la colocación de los dosímetros al exterior del vehículo

Este soporte se encontraba separado **6 metros** del vehículo, de forma que no fuera afectado por ninguna sombra ni reflexión de la radiación.

La exposición UV en el interior de un vehículo es un producto muy complejo de constantes cambios de dirección que provocan una alternancia de luces y sombras al mismo tiempo. Estas condiciones son muy difíciles de simular de una forma estandarizada (Moehrle et. al., 2003). Por este motivo la toma de medidas tuvo lugar sobre el vehículo colocado de manera estacionaria y orientado de manera que la ventanilla lateral del conductor estuviera orientada en dirección al sol en todo momento.

Los resultados obtenidos, por tanto, se refieren a una posición en la que el conductor es el más directamente afectado por la radiación solar ya que el Sol entra permanentemente por su ventanilla. Se trata, pues de una situación límite de exposición ya que en un viaje normal, el vehículo va cambiando su posición respecto al Sol.

El vehículo se iba girando cada **45 minutos** aproximadamente unos **10°** de manera que se siguiera cumpliendo esta condición, como se muestra en la figura 4.31.

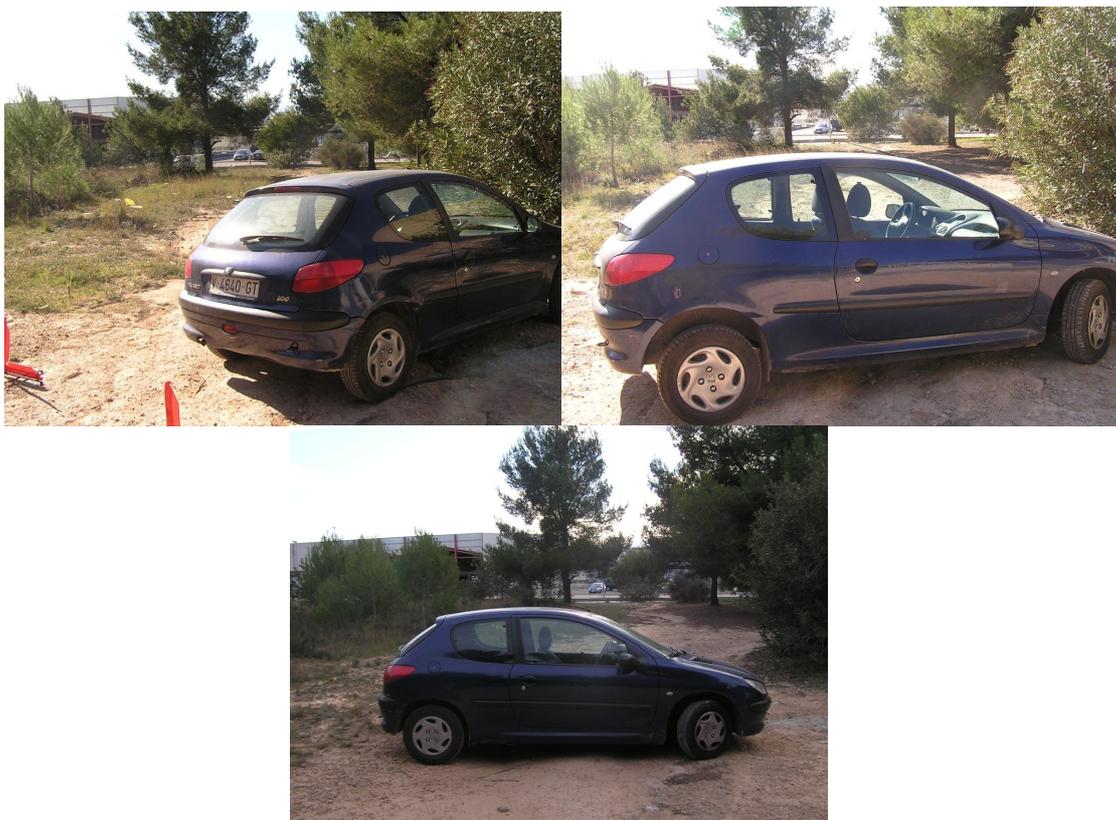


Figura 4.31.- Movimiento del vehículo para seguir la posición del sol a lo largo del día

4.2.3.3.- Medidas con dosímetros

Se ha medido a lo largo de todo el año 2009, dividiendo las campañas de medida en las siguientes épocas:

- febrero-marzo-abril
- mayo-junio
- julio-septiembre
- octubre-noviembre-diciembre

En todos los días, las condiciones atmosféricas fueron de cielo relativamente despejado. Las horas de medida están referidas a tiempo local.

En la tabla 4.9 se muestran los días concretos de medida.

Tabla 4.9.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros en el caso de coches

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
febrero	23*	9:35	16:40	13,27	54,11	2,56	537,30		60,42	49,72	1
	26**	9:40	16:55	14,22	62,31	1,36	482,98	342	59,47	50,70	2
marzo	5*	10:00	14:00	12,50	43,87	8,20	537,03		57,17	53,09	4
	6**	10:10	14:45	12,78	30,19	9,84	611,13	383	54,13	51,11	1
	9*	9:45	16:40	16,10	48,90	3,37	620,55	316	55,83	54,50	1
	10**	9:35	16:50	15,38	56,40	2,36	614,79	338	55,49	54,86	1
	13*	9:30	14:40	18,59	44,24	2,62	634,23		54,46	55,93	1
	24**	9:30	14:00	20,50	30,44	2,50	634,10	332	50,70	59,97	1
mayo	4*	9:50	16:50	21,77	35,08	2,66	825,74	351	38,51	73,79	1
	26**	9:45	16:50	25,55	38,18	3,97	778,28	332	34,57	78,69	1
	28*	9:50	16:15	25,48	29,23	2,19	788,16	344	34,32	79,00	1
junio	1**	9:50	16:15	23,28	54,42	3,32	781,50		33,89	79,56	1
	22*	10:35	16:40	25,45	60,38	3,50	725,09		32,90	80,87	3
	29**	9:35	16:20	27,14	58,00	2,60	765,55	324	33,04	80,68	1
julio	2*	9:40	15:00	28,09	61,33	2,69	651,62	309	33,18	80,50	3
	17**	9:40	15:00	28,49	61,78	4,28	781,80		34,50	78,75	1
	24*	9:40	14:50	33,62	27,33	3,53	773,61		35,50	77,50	1
	29**	9:40	14:45	30,07	49,43	2,50	748,85	293	36,35	76,44	1
septiembre	16*	9:20	15:00	20,55	54,68	2,71	555,47	320	49,85	60,89	2
	21**	9:30	15:10	22,44	43,58	2,26	621,97	334	51,55	59,04	1
	22*	10:30	15:00	23,91	47,15	2,90	477,21	317	51,90	58,68	3
	25**	10:30	15:00	25,00	44,12	2,78	589,32	304	52,92	57,57	1
octubre	1*	9:30	16:20	23,67	57,39	2,13	524,84	302	54,98	55,39	2
	6**	9:30	16:20	24,52	55,69	1,84	516,59	277	56,67	53,61	1
	21*	10:10	14:00	18,15	46,45	7,13	496,25		61,50	48,61	1
	22**	10:15	14:00	18,29	55,66	8,18	513,11	299	61,74	48,24	1
	30*	9:35	14:00	22,09	57,30	1,83	448,59		64,12	45,96	1
noviembre	2**	9:35	14:00	23,22	41,58	2,67	423,82	289	64,93	45,15	1
	9*	9:40	15:15	16,43	32,64	4,97	426,89	274	66,67	43,41	2
	10**	9:40	15:15	14,59	34,93	3,27	346,70	274	66,90	43,18	3
diciembre	1*	9:50	15:15	12,13	32,05	6,46	365,49		70,61	39,56	1
	9**	9:50	15:10	14,06	58,53	1,95	319,39	270	71,29	38,72	1

donde:

* días en que se midió con las ventanillas completamente cerradas

** días en que se midió con las ventanillas completamente abiertas

El resto de parámetros de la tabla 4.9 se explican en el apartado 4.2.1.

La metodología de ensayo fue la siguiente: los dosímetros se colocaban en sus respectivas posiciones y se destapaban en cuanto el Sol comenzaba a incidir sobre los mismos. El vehículo se colocaba orientado de forma que el Sol incidiera perpendicularmente sobre la ventanilla del conductor. En los días de medida con ventanillas cerradas, se cerraban todas las ventanillas del vehículo. Cada 45 minutos aproximadamente se giraba el vehículo unos 10°, de forma que continuara cumpliéndose la condición de que la radiación solar entrara siempre por la ventanilla del conductor. Los dosímetros encargados de medir la dosis al exterior del vehículo se colocaban a distancia de éste y orientados de manera que el dosímetro vertical tuviera idéntica orientación que la ventanilla del conductor.

El día de medida con las ventanillas abiertas, la metodología era la misma salvo que todas las ventanillas del vehículo permanecían abiertas durante todo el período de medida.

En los casos en que se compararon medidas de días distintos, se procuró que estos tuvieran condiciones climáticas similares.

4.2.3.4.- Medida de la irradiancia diaria con radiómetros

Para llevar a cabo esta parte de medidas, se han empleado **dos sensores**: uno colocado en posición horizontal y otro colocado en posición vertical. Los sensores están conectados a un radiómetro **PMA2100** que registra simultáneamente los datos de ambos sensores.

Para realizar las medidas se emplearon los mismos soportes que se utilizaron para los dosímetros, de 47 cm de altura sobre el nivel del suelo y con dos pequeñas plataformas: una horizontal ubicada en la parte más alta del soporte, y otra vertical ubicada a 30 cm de altura sobre el nivel del suelo. Ambas plataformas tienen una longitud de 4 cm y es donde fueron colocados los correspondientes sensores como se muestra en la figura 4.32.



Figura 4.32.- Equipo de medida empleado para la medida de la irradiancia en el vehículo

Para las medidas realizadas, se han colocado los sensores en posición horizontal y vertical en dirección a la ventanilla del conductor y situando el soporte en el asiento del conductor.

El día en que se midió en el interior del coche, se cambiaba el estado de las ventanillas de completamente abiertas a completamente cerradas a cada hora.

Debido a las complicaciones logísticas que implicaban colocar y velar por la seguridad de los sensores durante todo el día de medida para evitar accidentes, se midió en dos días relativamente despejados de Abril de 2009 como muestra la tabla 4.10.

Tabla 4.10.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en el caso de coches

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
abril	22*	9:40	14:45	22,03	29,19	2,13	786,24	352	41,56	70,19	1
	24**	9:36	14:44	21,04	49,89	5,48	811,04	323	41,01	70,83	1

- * se midió con los radiómetros todo el día al exterior
- ** se midió con los radiómetros en el interior del coche, cambiando el estado de las ventanillas (completamente abiertas o completamente cerradas) cada hora.

Capítulo 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL CASO I: INFLUENCIA DE LOS ÁRBOLES SOBRE LA UVER

En este capítulo se analizan los resultados que se han obtenido para el caso de los árboles como barrera física frente a la radiación UVER recibida por las personas situadas bajo su influencia. Se ha estructurado el capítulo de forma que en primer lugar se analizan los resultados para cada época del año de manera independiente y en el último apartado se comparan todas las épocas del año.

5.1.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS ÁRBOLES SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE FEBRERO-MARZO-ABRIL

5.1.1.- Dosis de radiación UVER recibida

Para la toma de datos en esta época del año, se ha encontrado la dificultad del número reducido de días claros que ha habido. A este factor hay que añadir el hecho de que en días aparentemente despejados, las nubes de evolución pueden llegar a cubrir el cielo en apenas unos minutos, anulando la validez de ese día de medida.

Es por esos motivos por los que, a lo largo de estos meses, el número de días de medida resulta algo inferior en comparación con otras épocas del año. Sin embargo, este hecho no resulta un inconveniente, debido a que la comparación entre distintas épocas del año se ha efectuado sobre cocientes de valores y no sobre valores absolutos medidos.

Solamente se han empleado los valores absolutos medios para el análisis que se ha efectuado para cada época del año de manera independiente, de forma que no tiene influencia el que en cada época resulten diferente número de días de medida.

Los días en que se han efectuado medidas con dosímetros, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, se muestran en la tabla 5.1. Con dosímetros solo se midió en febrero y marzo, mientras que con radiómetros también se midió en el mes de abril.

Tabla 5.1.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros en la época de febrero-marzo para el caso de árboles.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Cond. Cielo (okta)
febrero	27	9:45	14:30	14,38	50,80	1,49	523,53	353	59,14	3
marzo	5	10:00	14:00	12,50	43,87	8,20	537,03		57,17	4
	6	10:10	14:45	12,78	30,19	9,84	611,13	383	54,13	1
	9	9:45	16:40	16,10	48,90	3,37	620,55	316	55,83	1
	10	9:35	16:50	15,38	56,40	2,36	614,79	338	55,49	1
	13	9:30	14:40	18,59	44,24	2,62	634,23		54,46	1
	24	9:30	14:00	20,50	30,44	2,50	634,10	332	50,70	1

Las variables de la tabla 5.1 se han explicado en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta primera campaña de medidas del año fueron en total **9**, midiéndose en las posiciones indicadas en la tabla 5.2.

Tabla 5.2.- Días de medida para cada posición en la época de febrero-marzo.

Posición	Días de medida
Sombra del árbol A	27/2, 5/3, 6/3, 9/3, 10/3,13/3, 24/3
Sombra del árbol B	27/2, 5/3, 6/3, 9/3, 10/3, 13/3, 24/3
Pleno sol	5/3, 6/3, 9/3, 10/3,13/3, 24/3

Como se ha comentado anteriormente, y debido al hecho de que se están analizando los datos individualmente de cada campaña, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto a pleno sol, como en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B.

Para obtener los valores de la tabla 5.3, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en tomar los dosímetros empleados en cada posición objeto de estudio (sombra del árbol A, sombra del árbol B y pleno sol) y se han sumado los registros de irradiación UVER de cada uno de ellos al final de la campaña de medidas.

Así, para cada posición, se obtiene la irradiación UVER acumulada para esta campaña de medidas como resultado de sumar los registros de los dosímetros empleados.

Tabla 5.3.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para febrero-marzo.

Posición del dosímetro	UVER (J/m^2)
Sombra del árbol A horizontal	2352
Sombra del árbol B horizontal	1920
Pleno sol horizontal	6093,55

En la figura 5.1 se representan dichos valores.

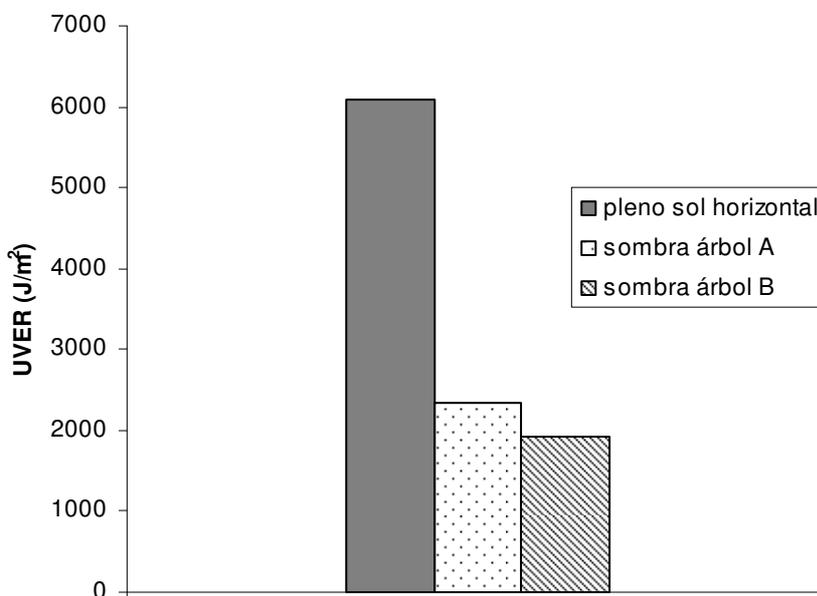


Figura 5.1.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para febrero-marzo.

Como primera observación, cabe mencionar aquí un concepto importante que será fundamento de sucesivas conclusiones a lo largo de esta tesis. Como se observa en la figura 5.1, existe un valor considerable de radiación UVER en la sombra del árbol (ya sea tipo A o tipo B) en comparación con la posición a pleno Sol. Una importante proporción de esta radiación se debe a la **componente difusa**. Es decir, que en la sombra de un árbol, en comparación con la posición a pleno Sol, un mayor porcentaje de radiación está formada por la componente difusa de la radiación, debido a la atenuación y filtrado de la componente directa que efectúa la copa del árbol.

Para poder extraer conclusiones adecuadas de los resultados anteriores, es conveniente analizar la relación que se conoce como el **cociente de exposición, CE** que se define con la expresión 5.1 (Parisi, Sabburg, Klimlin, 2004),

$$CE = \frac{UVER(sombra)}{UVER(sol)} \quad (5.1)$$

y que expresa el cociente de la irradiación UVER medida en la sombra, respecto a la medida a pleno Sol para cada árbol. En la tabla 5.4 se muestran los valores del cociente de exposición para cada tipo de árbol.

Tabla 5.4.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en febrero-marzo.

Árbol	UVER sombra / UVER sol
A	0,38
B	0,31

En la figura 5.2 se representan dichos valores.

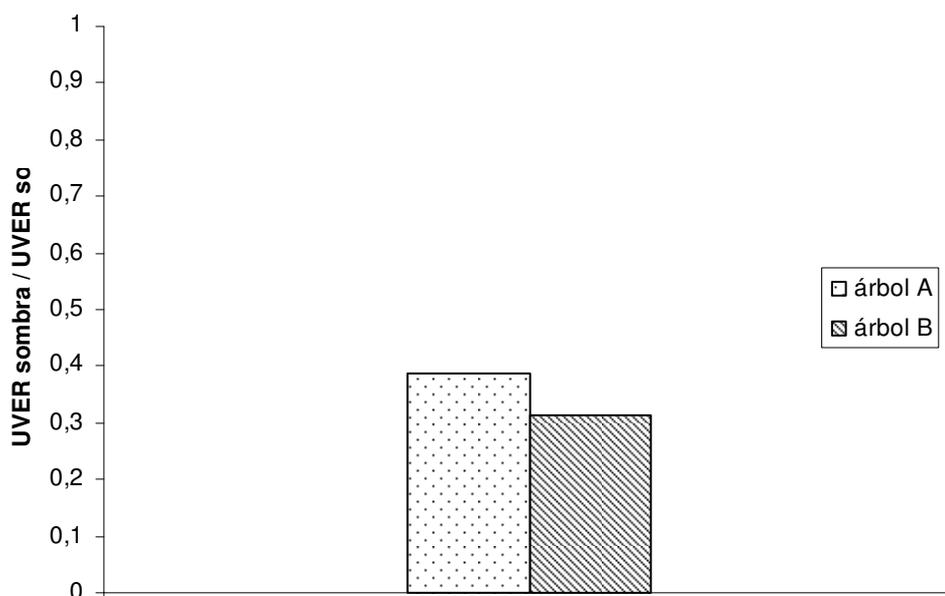


Figura 5.2.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en febrero-marzo.

A la vista de estos resultados, se puede observar como, pese a que las diferencias no son muy notables, debido a que en esta época del año el ángulo cenital solar es aún bastante elevado, (concretamente alcanza un valor promedio para los días de media de 55,27°), sí que se aprecia que en el árbol B, de mayor densidad de follaje, existe un menor porcentaje de radiación UVER en la sombra del árbol respecto al Sol en comparación con el árbol de follaje menos denso (A), concretamente un **18,37%** menos.

Este resultado era esperable, ya que al aumentar la densidad de la copa del árbol, la cantidad de radiación global que deja pasar a través de él es menor. Por lo tanto, como la radiación global es la suma de la componente directa más la difusa, si se reduce el valor de la componente global, también lo hace el de la radiación difusa. Como el valor de la radiación recibida a pleno Sol se mantiene constante, el cociente de exposición disminuye al hacerlo la radiación difusa recibida.

Existe un parámetro que puede dar una idea más intuitiva del resultado que se acaba de mostrar. Es el denominado **factor de protección UVER (FPUVER)** definido en la expresión 5.2.

$$FPUVER = \frac{UVER(sol)}{UVER(sombra)} \quad (5.2)$$

como UVER sol / UVER sombra, es decir el valor inverso del cociente de exposición. Aunque aparentemente sea una repetición de la información proporcionada con el cociente de exposición, la expresión de este parámetro ayuda a cuantificar intuitivamente la protección que ofrece un árbol frente a la radiación eritemática recibida por una persona que se coloca bajo su sombra. Esto es debido principalmente a que este parámetro es proporcional al efecto protector, es decir, que cuanto más elevado sea su valor, mayor protección estará proporcionando.

Tabla 5.5.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de febrero-marzo

Árbol	FPUVER (UVER sol / UVER sombra)
A	2,59
B	3,17

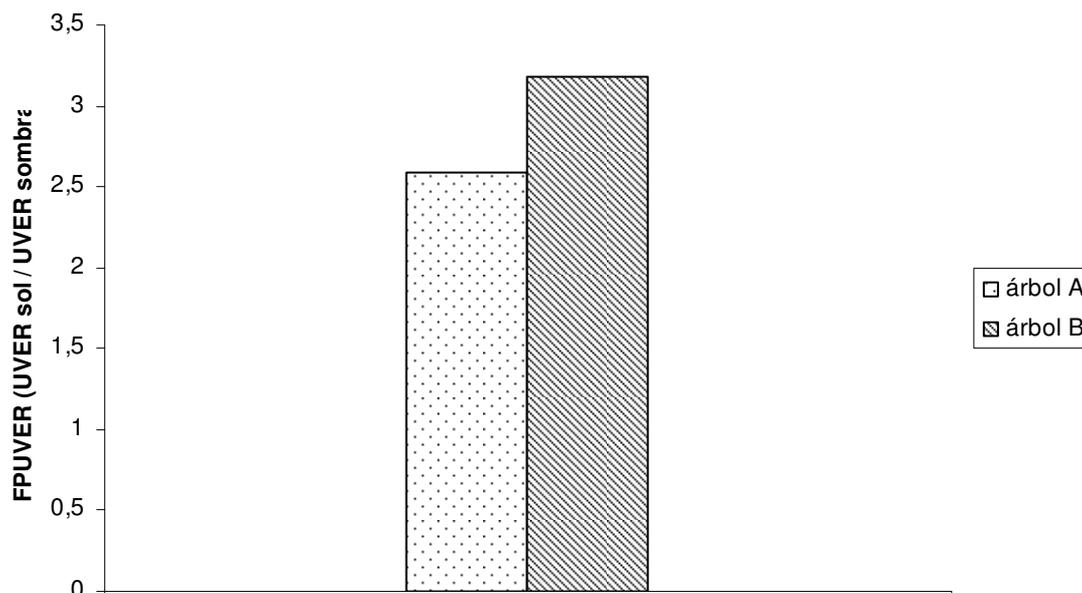


Figura 5.3.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de febrero-marzo

El valor relativamente bajo de los factores de protección para ambos árboles, se debe principalmente a la época del año en que se han realizado las medidas. Para estos meses, y en los días en que se han efectuado las medidas, el ángulo cenital solar tiene el valor promedio de $55,27^\circ$ comentado anteriormente, que es bastante elevado en comparación con el resto de épocas del año, como se muestra en la figura 5.4; ello implica que el camino que debe atravesar la radiación hasta llegar a la superficie de la Tierra es mayor.

La consecuencia es que la radiación en su camino sufre una mayor dispersión por las moléculas que encuentra a su paso (dispersión Rayleigh) y por tanto, la cantidad de radiación difusa que llega a la superficie es mayor.

Esto se traduce en un mayor porcentaje de radiación difusa (como se ha analizado en el apartado anterior) y por tanto un menor valor del FPUVER.

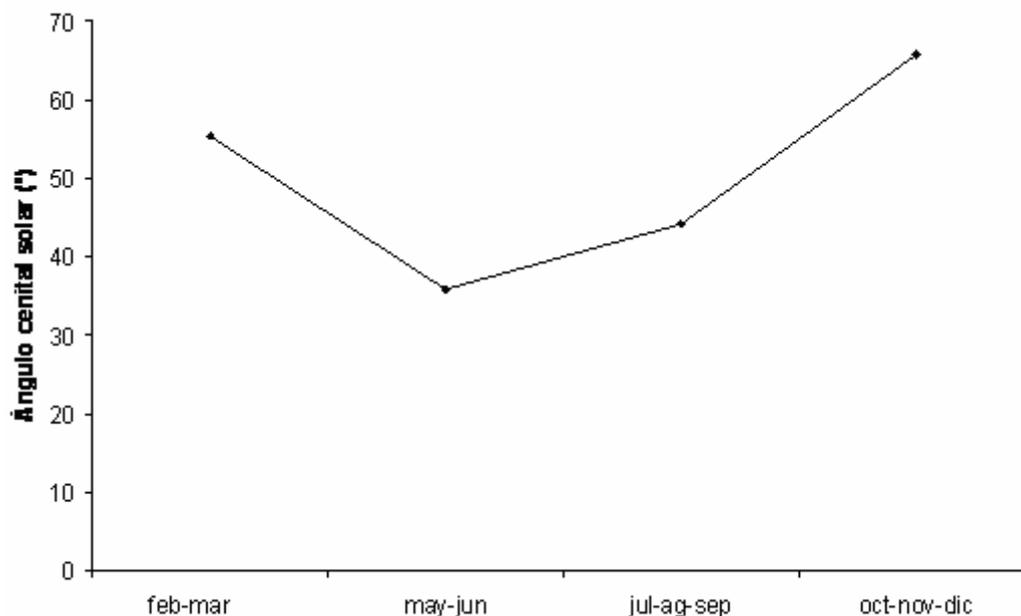


Figura 5.4.- Evolución del ángulo cenital solar promedio en los días de medida y a lo largo del año.

También se puede observar en la figura 5.3 como el árbol con mayor densidad de follaje (B) proporciona una mayor protección frente a la radiación eritemática recibida. Concretamente el árbol tipo B se muestra, para esta época del año, un **18,3 %** más efectivo que el árbol tipo A.

5.1.2.- Tiempo hasta el eritema

Uno de los objetivos importantes cuando se efectúan estudios sobre la radiación eritemática recibida, y más concretamente sobre el efecto de las barreras físicas en la radiación recibida, es concienciar a la población de que es necesario adoptar medidas que permitan protegerse frente a un tipo de radiación que, por su energía, puede resultar muy dañina para el ser humano.

Sin embargo, cuando se ofrecen los resultados de la mayoría de estudios que se realizan, se aportan valores y relaciones que son perfectamente entendibles por los técnicos, pero que pueden ser absolutamente ininteligibles por la gran mayoría de la población de a pie, que son al fin y al cabo quienes han de recibir la información y actuar en consecuencia.

Ni siquiera parámetros aparentemente claros como el factor de protección anteriormente analizado, puede ser demasiado útil en tanto en cuanto no se dispongan de otros valores para compararlo y decidir si el valor leído es alto o bajo.

Es por ello que en esta tesis se ha pretendido aportar una magnitud que quizá sea la más conocida por todas las personas: el tiempo. El objetivo es que la persona decida o deduzca el peligro a que se expone en función del tiempo que tardará en aparecerle un eritema o enrojecimiento en la piel.

Se ha introducido una tabla en la que se puede entrar con el tipo de piel de una persona, la época del año y la posición en la que se encuentra y con solo esos parámetros averiguar cuanto tiempo aproximado podrá estar en exposición hasta que le aparezca un eritema en la piel.

La forma de calcular es la siguiente: para cada tipo de árbol, se ha sumado el número total de horas en que se han realizado las medidas; como para cada fototipo de piel podemos conocer qué cantidad de radiación le produce eritema (Algaba, 2004), podemos obtener, con un sencillo cálculo, el tiempo que tardará, en esa época del año y para esa posición, en aparecerle un eritema.

Ejemplo: supongamos una persona con un tipo de piel I (para el cual 1 MED = 200 J/m²) que desea conocer en cuanto tiempo puede aparecerle un eritema, en una día despejado. Si en los experimentos se ha obtenido una dosis acumulada de 2352 J/m² en 35 h 9 min, realizaremos el siguiente cálculo por comparación:

$$\text{Tiempoeritema} = 200 \text{ J/m}^2 \times 35,15 \text{ h} \times \frac{1}{2352 \text{ J/m}^2} = 2,98 \text{ h} = 2 \text{ h } 59 \text{ min}$$

En primer lugar, por tanto, se muestra en la tabla 5.6 en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de febrero-marzo

Tabla 5.6.- Horas totales de medida para febrero-marzo

Posición	Horas de medida
Sombra del árbol A	35 h 9 min
Sombra del árbol B	35 h 9 min
Pleno sol	35 h 9 min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7.

Tabla 5.7.- Cantidad de radiación equivalente a 1 MED para cada fototipo de piel

Fototipo de piel	Cantidad de radiación equivalente a 1 MED (J/m ²)
I	200
II	250
III	350
IV	450
V	550
VI	650

Siguiendo el procedimiento apuntado en el ejemplo anterior, podemos calcular, para cada fototipo de piel, el tiempo para el cual le podría aparecer un eritema en la piel a la persona. Los resultados se muestran en la tabla 5.8.

Tabla 5.8.- Tiempo hasta la aparición de eritema para la época de febrero-marzo

	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
Sombra de árbol A	2 h 59 min	3 h 44 min	5 h 13 min	6 h 43 min	8 h 13 min	9 h 42 min
Sombra de árbol B	3 h 39 min	4 h 34 min	6 h 24 min	8 h 14 min	10 h 4 min	11 h 53 min
Pleno sol	1 h 9 min	1 h 26 min	2 h 1 min	2 h 35 min	3 h 10 min	3 h 44 min

Ejemplo: persona de tez blanca que en el mes de marzo se sitúa bajo la sombra de un árbol tipo A. Si entramos a la tabla, observamos que podría estar aproximadamente 3 horas en el período entre las 9:30h y las 15:30h del día hasta que le apareciera un eritema.

5.1.3.- Medidas de irradiancia diaria

Con la metodología empleada, en la que se utilizan los dosímetros como instrumento de medida de la radiación incidente, no es posible evaluar los cambios en la radiación eritemática recibida a lo largo de un día.

Es por ello que, como complemento a las dosis medidas con los dosímetros, se ha efectuado una medida puntual empleando los radiómetros y registrando por tanto valores de irradiancia para un día medio.

Las medidas se efectuaron en los días que muestra la tabla 5.9.

Tabla 5.9.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en la época de febrero-marzo-abril para el caso de árboles

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Cond. Cielo (okta)
abril	21(A,B,S)	10:40	15:20	20,22	35,30	2,55	733,35		41,84	1
	27(A,B,S)	9:35	14:25	19,55	26,79	4,36	819,39	391	40,22	1

donde:

- (A) medidas realizadas en la sombra del árbol A
- (B) medidas realizadas en la sombra del árbol B
- (S) medidas realizadas a pleno sol

Se han promediado los valores obtenidos de irradiancia en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ para cada uno de los días y se han representado los valores en la figura 5.5 junto a los valores instantáneos medios del ángulo cenital para los días de medida.

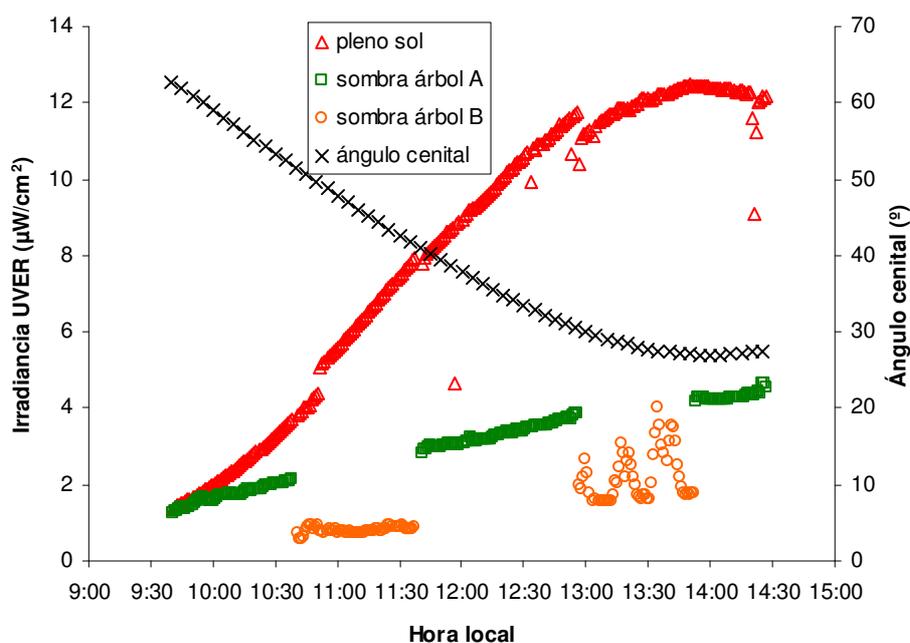


Figura 5.5.- Valores de irradiancia para un día medio de la época de abril en el caso de árboles

Como comentarios del análisis realizado con valores de irradiancia, se puede indicar en primer lugar que, al igual que sucedía en el caso de la irradiación, la irradiancia recibida bajo la sombra del árbol de tipo A es sensiblemente superior a la recibida bajo la sombra del árbol B. Ello se debe a la mayor densidad de follaje de este último.

Los valores que se van ligeramente de la tendencia del resto de puntos, principalmente en el caso del árbol de tipo B, se debe a los huecos que pueden existir entre el follaje del árbol y que suponen que en un momento dado penetre más radiación a través del mismo.

Además, existen en las curvas unos saltos que se deben al cambio de posición de los radiómetros que se iban alternando entre la sombra del árbol A y la sombra del árbol B a cada hora.

Sin embargo, la conclusión más importante que se puede extraer de estas medidas es que, en las primeras horas de la mañana, los valores de irradiancia tomados bajo la sombra del árbol de tipo A, son prácticamente iguales a los valores de irradiancia en la posición de pleno Sol. Ello se debe, principalmente, al hecho de que en estas primeras horas del día, el ángulo cenital solar alcanza sus valores más elevados. La implicación inmediata es que la radiación debe recorrer un camino más grande hasta llegar a la superficie y, por lo tanto, se da con mayor intensidad el fenómeno de la dispersión de Rayleigh, lo cual se traduce en una mayor cantidad de radiación solar difusa sobre la global.

Otro aspecto relevante derivado del estudio de las variaciones diurnas de la irradiancia UVER en términos absolutos en la sombra y a pleno Sol, es el hecho de que éstas son mayores en el caso de la posición a pleno Sol, con unos valores que oscilan entre $2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ por la mañana y $12 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ a mediodía, es decir una variación de **$10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$** mientras que para la sombra de un árbol, por ejemplo el de tipo A, los valores oscilan entre $1,8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ por la mañana y $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ a mediodía, es decir una variación de **$2,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$** . Para el árbol tipo B los valores oscilan entre $0,8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ por la mañana y $2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ a mediodía, es decir una variación de **$1.2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$** .

Esto nos lleva a deducir que conforme la densidad del follaje del árbol es mayor, esto es, cuanto mayor es la barrera que opone el árbol al paso de la radiación, menor es la variación diurna que experimenta la irradiancia UVER.

La variación de la componente difusa a lo largo del día se pone de manifiesto en la figura 5.6, donde se representa el **cociente de exposición CE**, que se define según la expresión 5.3 (Parisi, Sabburg, Klimlin, 2004),

$$CE = \frac{UVER(sombra)}{UVER(sol)} \quad (5.3)$$

y que en este caso expresa el cociente de la irradiancia UVER medida en la sombra, respecto a la medida a pleno sol para cada árbol.

Se observa que el porcentaje de difusa respecto a pleno Sol para el árbol de tipo A alcanza un valor por encima del **90%** para las 9:30h de la mañana mientras que el árbol de tipo B llega al **25 %** a esa misma hora. Estos valores van disminuyendo conforme avanza el día y el ángulo cenital decrece. El porcentaje de irradiancia difusa se va haciendo menor y a las 13:00h alcanza valores ligeramente superiores al **30 %** en el árbol tipo A y de apenas un **15 %** para el árbol tipo B.

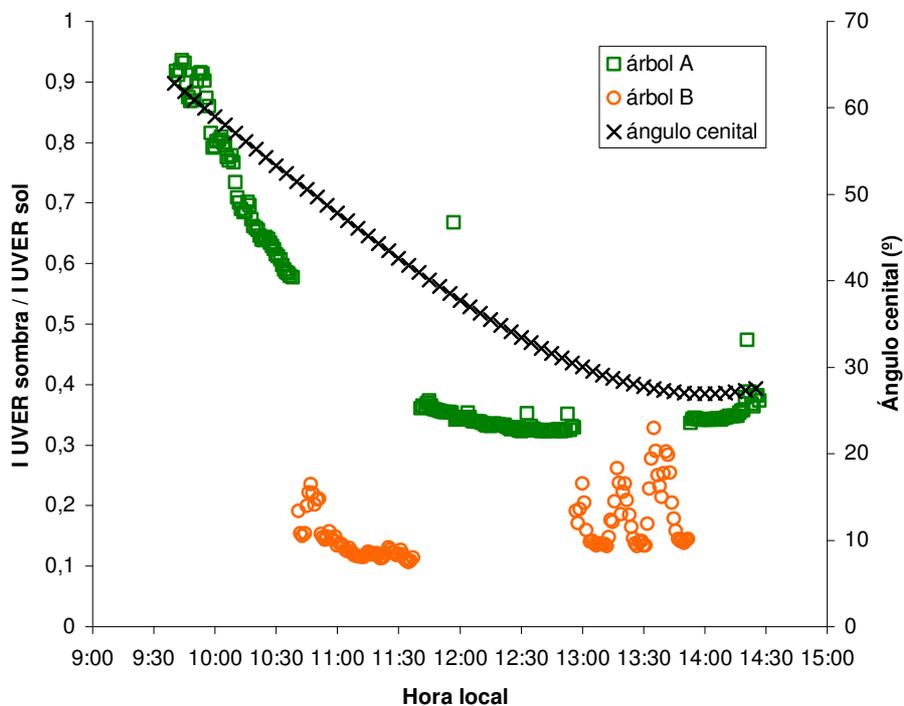


Figura 5.6.- Cociente de exposición en un día medio de la época abril en el caso de árboles

5.2.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS ÁRBOLES SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE MAYO-JUNIO

5.2.1.- Dosis de radiación UVER recibida

En esta época del año, las condiciones meteorológicas favorables posibilitaron efectuar medidas durante un mayor número de días. Por este motivo y con el objetivo de no sumar en esta época un número de días que se excediera demasiado en comparación con el resto de épocas del año, se decidió efectuar la campaña de medidas en solo dos meses: mayo y junio. Por motivos de envío de dosímetros, se ha incluido en esta época el día 29 de abril. No obstante las condiciones climáticas de este día se pueden asimilar a las del mes de mayo, como se observa en la tabla 5.10, motivo por el cual queda justificada su inclusión.

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, se muestran en la tabla 5.10.

Tabla 5.10.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para la época de mayo-junio en el caso de árboles

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Cond. Cielo (okta)
abril	29	9:45	15:45	21,46	30,24	3,19	827,61	351	39,71	1
mayo	4	9:50	16:50	21,77	35,08	2,66	825,74	351	38,51	1
	7	9:30	15:45	26,90	30,68	3,24	819,36		37,84	1
	15	9:45	14:45	20,96	29,07	3,43	864,85	359	36,26	1
	18	10:05	15:50	20,56	58,20	4,60	851,39		35,74	1
	26	9:45	16:10	25,55	38,18	3,97	778,28	332	34,57	2
	28	9:50	14:00	25,48	29,23	2,19	788,16	344	34,32	1
	29	9:40	14:40	23,86	43,11	4,12	799,52	345	34,21	1
junio	1	9:50	15:55	23,28	54,42	3,32	781,50		33,89	1
	10	9:45	15:30	29,35	25,97	3,91	790,85	319	33,20	1

Las variables de la tabla 5.10 están explicadas en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta segunda campaña de medidas del año fueron en total **12**, midiéndose en las posiciones que se indican en la tabla 5.11.

Tabla 5.11.- Días de medida con dosímetros para cada posición en la época de mayo-junio en el caso de árboles

Posición	Días de medida
Sombra del árbol A	29/5, 4/5, 7/5, 29/5, 1/6, 10/6, 15/5, 18/5, 26/5, 28/5
Sombra del árbol B	29/5, 4/5, 7/5, 29/5, 1/6, 10/6, 15/5, 18/5, 26/5, 28/5
Pleno sol	29/4, 4/5, 7/5, 29/5, 1/6, 10/6, 15/5, 18/5, 26/5, 28/5

Como se ha comentado anteriormente, y debido al hecho de que se están analizando los datos individualmente de cada campaña, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto a pleno Sol como en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B.

Para obtener los valores de la tabla 5.12, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en tomar los dosímetros empleados en cada posición objeto de estudio (sombra del árbol A, sombra del árbol B y pleno Sol) y se han sumado los registros de irradiación UVER de cada uno de ellos al final de la campaña de medidas.

Así, para cada posición, se obtiene la irradiación UVER acumulada para esta campaña de medidas, como resultado de sumar los registros de los dosímetros empleados.

Tabla 5.12.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para mayo-junio.

Posición del dosímetro	UVER (J/m^2)
Sombra del árbol A horizontal	6501
Sombra del árbol B horizontal	3003
Pleno sol horizontal	25779

En la figura 5.7 se representan dichos valores.

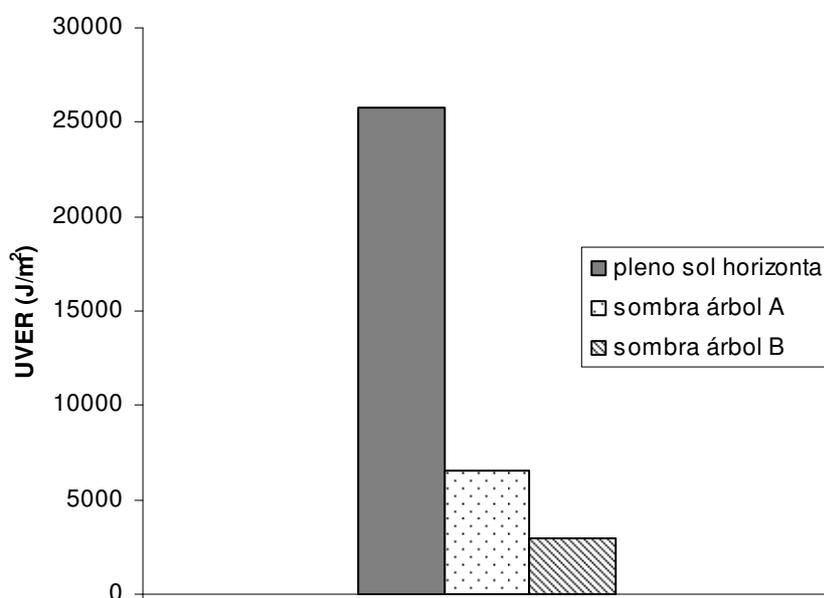


Figura 5.7.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para mayo-junio.

En la tabla 5.13 se muestran los valores del **cociente de exposición, CE**, para cada tipo de árbol.

Tabla 5.13.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en mayo-junio.

Árbol	UVER sombra / UVER sol
A	0,25
B	0,11

En la figura 5.8 se representan dichos valores.

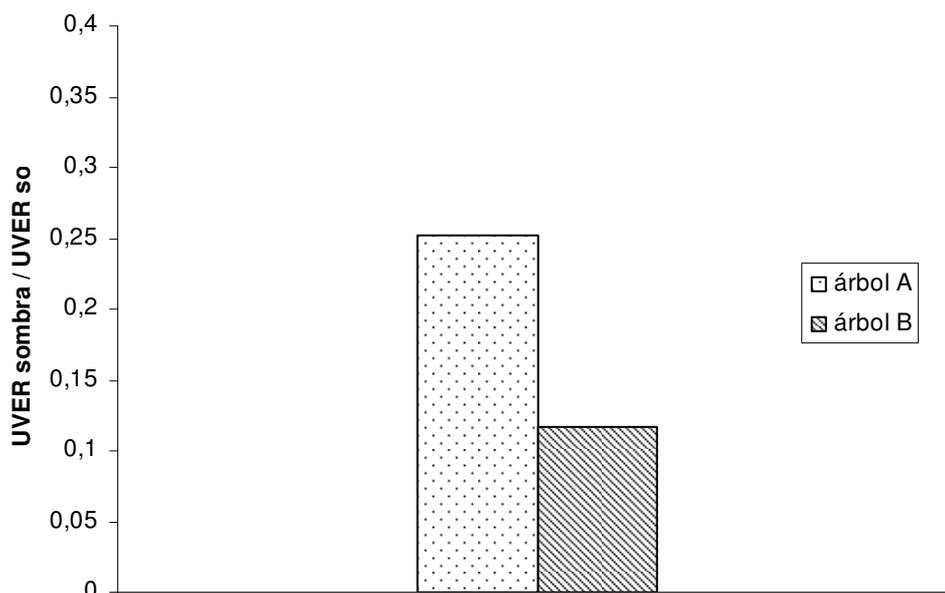


Figura 5.8.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en mayo-junio

Se observa un valor bastante reducido de porcentaje de radiación en la sombra con respecto a pleno Sol tanto para el árbol de tipo A como para el árbol de tipo B. Ello puede ser debido a que, en esta época del año, el Sol está sensiblemente más alto y el ángulo cenital es menor que en la época invernal (concretamente alcanza un valor promedio entre los días de media de 35,83°), lo cual da lugar a que se reduzca la proporción de radiación difusa que llega a la superficie y que es la componente fundamental de la radiación recibida en la sombra del árbol.

Además, el árbol de follaje más denso (B) también presenta un menor valor de ese cociente de exposición en comparación con el árbol menos denso (A); en concreto el cociente se reduce en un **53,83%**. El motivo de esta reducción es, como ya se ha argumentado en apartados anteriores, el hecho de que al aumentar la densidad de la copa del árbol, la cantidad de radiación global que deja pasar a través de él es menor.

Se analiza a continuación el denominado **factor de protección UVER** (FPUVER).

En este caso, cuanto mayor sea el factor de protección, más efectiva es la barrera física en cuestión frente a la radiación UVER. Se muestran en la tabla 5.14, los valores para cada árbol.

Tabla 5.14.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de mayo-junio

Árbol	UVER sol / UVER sombra
A	3,97
B	8,58

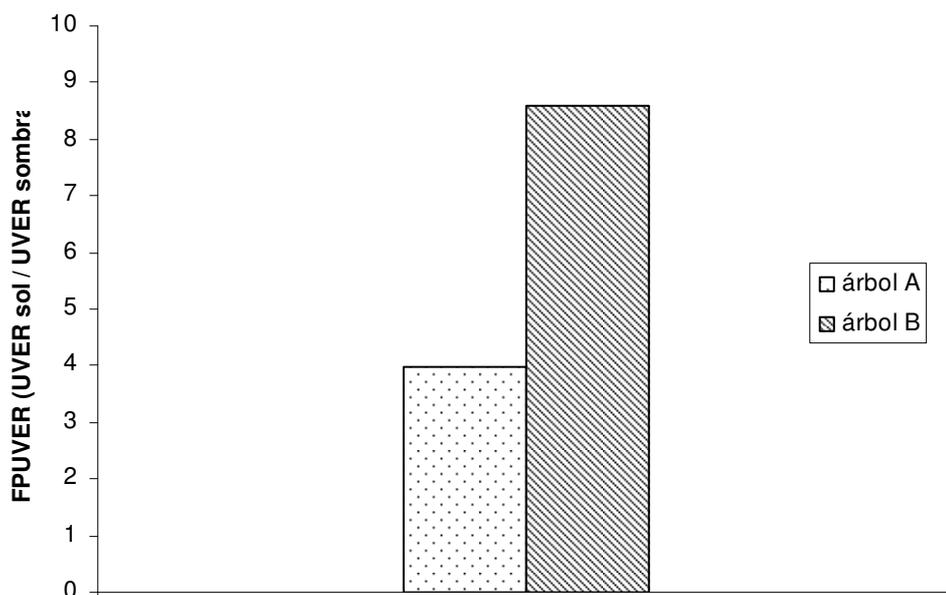


Figura 5.9.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de mayo-junio

Para esta época, se observan unos valores relativamente moderados del factor de protección, sobretudo del árbol más denso (árbol B) que llega al valor de **8,58**. Ello se debe a que, conforme el ángulo cenital solar va disminuyendo, el camino que debe atravesar la radiación solar es menor, con lo que la dispersión Rayleigh es menor y así, conforme avanzan los meses hacia el verano, la cantidad de radiación difusa va decreciendo en porcentaje sobre la radiación global y por tanto el factor de protección va aumentando.

También se puede observar como el árbol con mayor densidad de follaje (B), proporciona una mayor protección frente a la radiación eritemática recibida; concretamente el árbol A tiene un valor de FPUVER de 3,97 y el árbol B alcanza un valor de FPUVER de 8,58 lo que supone un **53,83%** más.

5.2.2.- Tiempo hasta el eritema

En primer lugar, se muestra en la tabla 5.15 en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de mayo-junio:

Tabla 5.15.- Horas totales de medida para mayo-junio en el caso de árboles

Posición	Horas de medida
Sombra del árbol A	57 h
Sombra del árbol B	57 h
Pleno sol	57 h

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

Se puede calcular para cada fototipo de piel el tiempo para el cual le podría aparecer un eritema en la piel de la persona. Los resultados se muestran en la tabla 5.16.

Tabla 5.16.- Tiempo hasta la aparición de eritema para la época de mayo-junio en el caso de árboles

	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
Sombra árbol A	1 h 45 min	2 h 11 min	3 h 4 min	3 h 56 min	4 h 49 min	5 h 41 min
Sombra árbol B	3 h 47 min	4 h 44 min	6 h 38 min	8 h 32 min	10 h 26 min	12 h 20 min
Pleno sol	26 min	33 min	46 min	59 min	1 h 12 min	1 h 26 min

Ejemplo: persona de tez blanca que en el mes de mayo se sitúa bajo la sombra de un árbol tipo B. Si entramos a la tabla, observamos que podría estar aproximadamente 3 horas y 50 minutos en el período comprendido entre las 9:30h y las 15:30h hasta que le apareciera un eritema.

5.2.3.- Medidas de irradiancia diaria

Como complemento a las medidas de dosis efectuadas por los dosímetros, se ha efectuado una medida puntual empleando los radiómetros y registrando por tanto valores de irradiancia para un día medio.

Las medidas se efectuaron en los días que muestra la tabla 5.17.

Tabla 5.17.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en la época de mayo-junio para el caso de árboles.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Radiac. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Cond. Cielo (okta)
mayo	27 (A,S)	9:50	15:30	21,45	41,38	3,61	794,79	338	34,44	2
junio	1 (B,S)	9:50	15:55	23,28	54,42	3,32	781,50		33,89	1
	17 (A)	9:30	15:30	25,87	56,60	3,61	836,18		32,94	1
	26 (S)	9:10	14:53	28,70	29,36	4,70	820,04	320	32,95	1

donde:

- (A) medidas realizadas en la sombra del árbol A
- (B) medidas realizadas en la sombra del árbol B
- (S) medidas realizadas a pleno Sol

Se han promediado los valores obtenidos de irradiancia en μW/cm² para cada uno de los días y se han representado en la figura 5.10 junto al valor instantáneo medio del ángulo cenital para los días de medida.

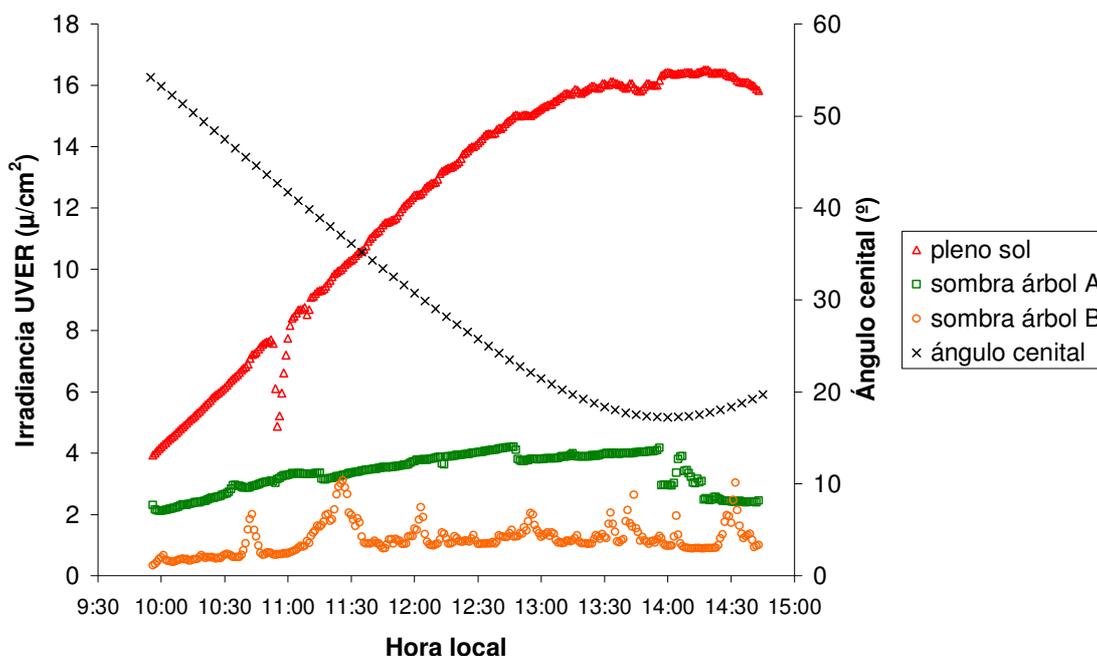


Figura 5.10 Valores de irradiancia para un día medio de la época mayo-junio

Como comentarios del análisis realizado con valores de irradiancia, se puede indicar en primer lugar que, al igual que sucedía en el caso de la irradiación, la irradiancia recibida bajo la sombra del árbol de tipo A es sensiblemente superior a la recibida bajo la sombra del árbol B. Ello se debe a la mayor densidad de follaje de este último.

Los valores que se van ligeramente de la tendencia del resto de puntos, principalmente en el caso del árbol de tipo B, se deben a los huecos que pueden existir entre el follaje del árbol y que suponen que en un momento dado penetre más radiación a través del mismo.

Se puede observar que en las primeras horas de la mañana, los valores de irradiancia tomados bajo la sombra del árbol de tipo A y del tipo B son más parecidos a los valores de irradiancia en la posición de pleno sol que a mediodía. En la tabla 5.18 se muestran dichas diferencias.

Tabla 5.18.- Diferencias entre la exposición en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B respecto a pleno sol a las 10:00h y a las 13:30h. para la época de mayo-junio.

Hora	Sombra árbol A ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Sombra árbol B ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Pleno sol ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Diferencia sombra-sol (%)	
				árbol A	árbol B
10:00	2,11	0,59	4,21	49,9	86
13:30	3,97	1,26	16,05	75,26	92,15

Los resultados observados en la tabla 5.18 se deben principalmente al hecho de que en estas primeras horas del día, el ángulo cenital solar tiene sus valores más elevados. La implicación inmediata es que la radiación debe recorrer un camino más grande hasta llegar a la superficie y por lo tanto se da con mayor intensidad el fenómeno de la dispersión de Rayleigh, lo cual se traduce en una mayor cantidad de radiación solar difusa sobre la global.

La variación de la componente difusa a lo largo del día también se pone de manifiesto en la figura 5.11, donde se representa el **cociente de exposición, CE**, que en este caso expresa el cociente de la irradiancia UVER medida en la sombra, respecto a la medida a pleno Sol para cada árbol.

Se observa que el porcentaje de difusa respecto al pleno Sol para el árbol de tipo A alcanza un valor de **50,12%** para las 10:00h de la mañana, mientras que el árbol de tipo B llega al **14,13%** a esa misma hora.

Este efecto va disminuyendo conforme avanza el día y el ángulo cenital decrece. El porcentaje de irradiancia difusa se va haciendo menor y alcanza valores ligeramente superiores al **24,8 %** en el árbol tipo A y de apenas un **7,87 %** para el más tupido árbol tipo B.

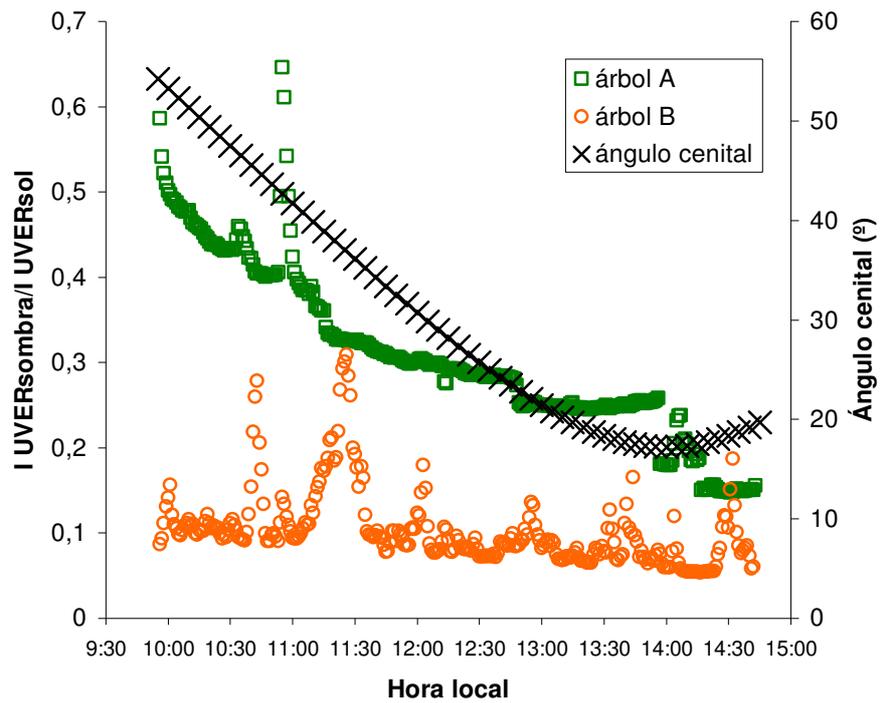


Figura 5.11.- Cociente de exposición de la irradiancia recibida en la sombra del árbol respecto a la recibida a pleno sol para el árbol A y el árbol B en la época de mayo-junio

5.3.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS ÁRBOLES SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE JULIO-SEPTIEMBRE

5.3.1.- Dosis de radiación UVER recibida

En la ubicación en que se realizó el estudio, es en esta época del año cuando mayor cantidad de días despejados hay de todo el año con gran diferencia. Ello obligó a reducir el número de días de medida para que no existiera una descompensación muy grande con el resto de épocas del año.

Por otra parte, hay que resaltar el hecho de que no se pudieron obtener medidas del mes de agosto, debido a que en este período, el Instituto de Tecnología Eléctrica se encontraba cerrado por vacaciones.

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, han sido los que se muestran en la tabla 5.19. Por motivos logísticos en el envío de dosímetros a los laboratorios de Alemania, se ha incluido en esta campaña de medidas el día 1 de octubre. No obstante, como se puede comprobar en la tabla 5.20, las condiciones climáticas de ese día son muy similares al resto de días de la campaña de medida.

Tabla 5.19.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros a la sombra de los árboles para la época de julio-septiembre

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Cond. Cielo (okta)
julio	2	9:40	15:00	28,09	61,33	2,69	651,62	309	33,18	3
	7	10:10	14:50	26,15	64,07	4,14	696,36	320	33,50	1
	17	9:40	15:00	28,49	61,78	4,28	781,80		34,50	1
	20	9:45	14:30	25,66	60,45	3,55	749,33	302	34,90	2
	24	9:40	14:50	33,62	27,33	3,53	773,61		35,50	1
	30	9:45	14:50	27,60	58,36	3,91	726,76	301	36,53	2
septiembre	9	9:45	16:00	25,12	58,45	2,94	596,55	304	47,19	2
	11	9:35	14:50	25,75	47,21	2,55	597,39	304	48,51	2
	16	9:20	15:00	20,55	54,68	2,71	555,47	320	49,85	2
	21	9:30	15:10	22,44	43,58	2,26	621,97	334	51,55	1
	22	10:30	15:00	23,91	47,15	2,90	477,21	317	51,90	3
	24	9:30	15:40	23,86	51,91	1,88	590,26	307	52,58	1
octubre	25	10:30	15:00	25,00	44,12	2,78	589,32	304	52,92	1
	1	9:30	16:20	23,67	57,39	2,13	524,84	302	54,13	2

Las variables de la tabla 5.19 se han explicado en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta tercera campaña de medidas del año fueron en total **18**, midiéndose en las posiciones que se indican en la tabla 5.20.

Tabla 5.20.- Días de medida para cada posición en la época de julio-septiembre para el caso de árboles

Posición	Días de medida
Sombra del árbol A	2/7, 7/7, 17/7, 20/7, 24/7, 30/7, 9/9, 11/9, 16/9, 21/9, 22/9, 24/9, 25/9, 1/10
Sombra del árbol B	2/7, 7/7, 17/7, 20/7, 24/7, 30/7, 9/9, 11/9, 16/9, 21/9, 22/9, 24/9, 25/9, 1/10
Pleno sol	2/7, 7/7, 17/7, 20/7, 24/7, 30/7, 9/9, 11/9, 16/9, 21/9, 22/9, 24/9, 25/9, 1/10

Se emplearon más dosímetros para la posición de pleno Sol en comparación con la posición a la sombra de cualquiera de los árboles; ello se debe a que en esta época del año, la cantidad de radiación recibida en apenas dos días era muy elevada, lo suficiente como para saturar la capacidad de uno de los dosímetros empleados en la campaña de medidas, teniendo pues que ser sustituido por otro.

Como se ha comentado anteriormente, y debido al hecho de que se están analizando los datos individualmente de cada campaña, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto a pleno Sol como en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B.

Para obtener los valores de la tabla 5.21, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en tomar los dosímetros empleados en cada posición objeto de estudio (sombra del árbol A, sombra del árbol B y pleno sol) y se han sumado los registros de irradiación UVER de cada uno de ellos al final de la campaña de medidas.

Así, para cada posición, se obtiene la irradiación UVER acumulada para esta campaña de medidas como resultado de sumar los registros de los dosímetros empleados.

Tabla 5.21.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para julio-septiembre.

Posición del dosímetro	UVER (J/m ²)
Sombra del árbol A horizontal	8629
Sombra del árbol B horizontal	3901
Pleno sol horizontal	29475

Se representan dichos valores en la figura 5.12.

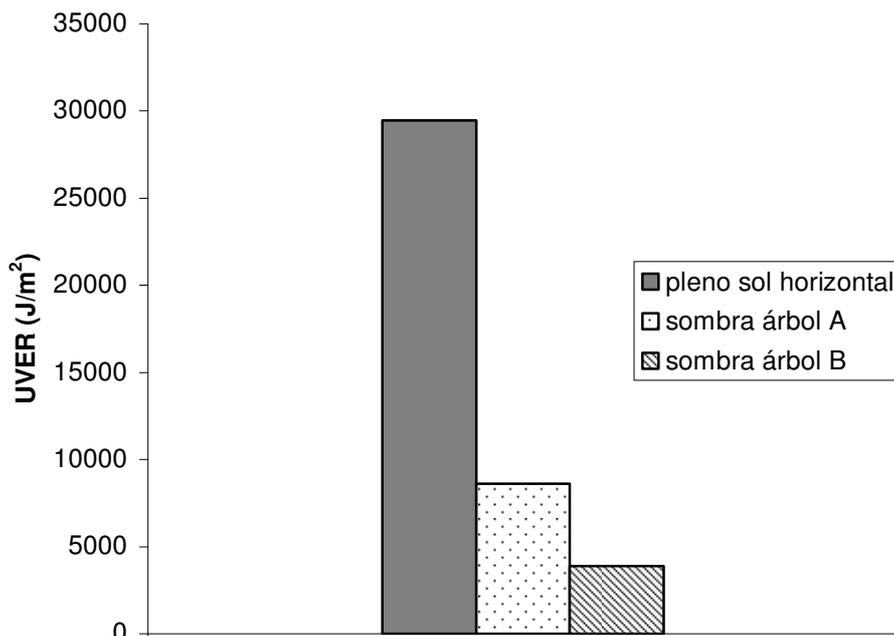


Figura 5.12 Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para julio-septiembre.

En la tabla 5.22 se muestran los valores del **cociente de exposición CE**, para cada tipo de árbol.

Tabla 5.22.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en julio-septiembre

Árbol	UVER sombra / UVER sol
A	0,29
B	0,13

Se observa un valor bastante reducido del porcentaje de radiación en la sombra con respecto a pleno Sol, tanto para el árbol de tipo A como para el árbol de tipo B. Ello puede ser debido a que en esta época del año el Sol está sensiblemente más alto y el ángulo cenital es menor que en la época invernal, lo cual da lugar a que se reduzca la proporción de radiación difusa que llega a la superficie y que es la componente fundamental de la radiación recibida en la sombra del árbol.

Además, se puede observar que el valor del cociente de exposición, al pasar del árbol de tipo A al árbol de tipo B, se ve considerablemente reducido. Concretamente, se reduce en un **54,81%**. Ello es debido a que la reducción de la componente difusa cuando el ángulo cenital solar es grande se muestra más acusada en el árbol de mayor

densidad de hojas (B), pues al bloquear en su conjunto mayor cantidad de radiación global, también lo hace de la componente difusa.

La representación gráfica de los valores anteriores se muestra en la figura 5.13.

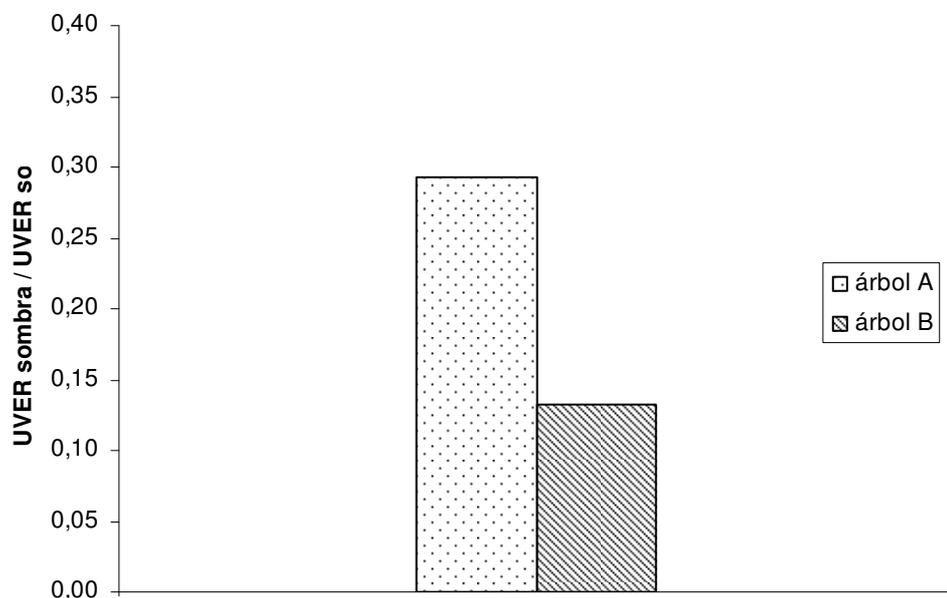


Figura 5.13.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en la época de julio-septiembre

Se muestran en la tabla 5.23 los valores para cada tipo de árbol del **factor de protección UVER (FPUVER)**.

Tabla 5.23.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de julio-septiembre

Árbol	UVER sol / UVER sombra
A	3,42
B	7,56

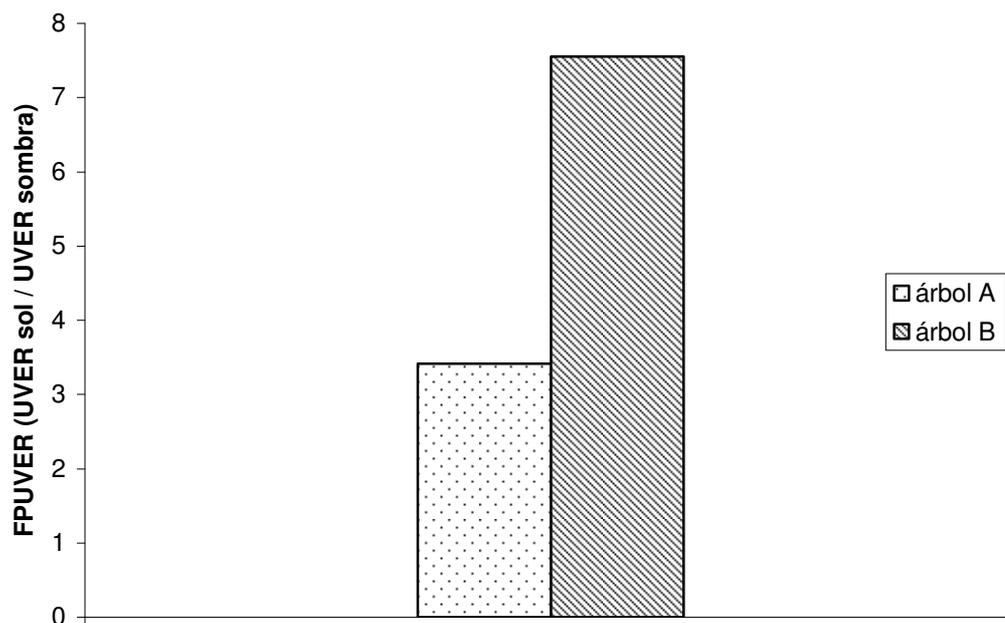


Figura 5.14.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de julio-septiembre

Para esta época, se observan ya unos valores moderados del factor de protección, sobretodo del árbol más denso (árbol B) que llega al valor de **7,56**. Ello se debe a que, conforme el ángulo cenital solar va disminuyendo, el camino que debe atravesar la radiación solar es menor, con lo que la dispersión Rayleigh es menor y así, conforme avanzan los meses hacia el verano, la cantidad de radiación difusa va decreciendo en porcentaje sobre la radiación global y por tanto el factor de protección va aumentando.

También se puede observar en la figura 5.14 como el árbol con mayor densidad de follaje proporciona una mayor protección frente a la radiación eritemática recibida concretamente un **54,76%**.

5.3.2.- Tiempo hasta el eritema

En primer lugar, se muestra en la tabla 5.24 en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de julio-septiembre:

Tabla 5.24.- Horas totales de medida en la sombra de los árboles para julio-septiembre

Posición	Horas de medida
Sombra del árbol A	75h 15min
Sombra del árbol B	75h 15min
Pleno sol	75h 15min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

Se puede calcular para cada fototipo de piel el tiempo para el cual le podría aparecer un eritema en la piel a la persona. Los valores calculados aparecen en la tabla 5.25.

Tabla 5.25.- Tiempo hasta la aparición de eritema para la época de julio-septiembre.

	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
Sombra árbol A	1h45min	2h11min	3h3min	3h55min	4h48min	5h40min
Sombra árbol B	3h51min	4h49min	6h45min	8h41min	10h37min	12h32min
Pleno sol	0h31min	0h38min	0h54min	1h9min	1h24min	1h40min

Por lo que se aprecia en la tabla 5.27, para un individuo de fototipo de piel I, se produciría un eritema en la piel a pleno sol en 31 minutos para esta época del año, pero a la sombra de un árbol poco frondoso como el tipo A, el mismo eritema le sobrevendría en apenas 1h 15 minutos después. Por ello no se debe sobreestimar la sombra del árbol como protección totalmente efectiva frente a la radiación eritemática.

5.3.3.- Medidas de irradiancia diaria

Como complemento a las medidas de dosis efectuadas por los dosímetros, se ha efectuado una medida puntual empleando los radiómetros y registrando por tanto valores de irradiancia para un día medio.

Las medidas se efectuaron en los días que se muestra en la tabla 5.26.

Tabla 5.26.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en la época de julio-septiembre para el caso de árboles.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Cond. Cielo (okta)
julio	7 (A)	11:06	14:34	26,15	64,07	4,14	696,36	320	33,50	1
	17 (B)	11:06	14:34	28,49	61,78	4,28	781,80		34,50	1
	20 (S)	11:06	14:34	25,66	60,45	3,55	749,33	302	34,90	2

donde

(A) : día de medida con el radiómetro a la sombra del árbol A

(B) : día de medida con el radiómetro a la sombra del árbol B

(S): día de medida con el radiómetro a pleno sol

Se han representado los valores obtenidos de irradiancia en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ para cada uno de los días en la figura 5.15 junto al valor instantáneo medio del ángulo cenital para los días de medida.

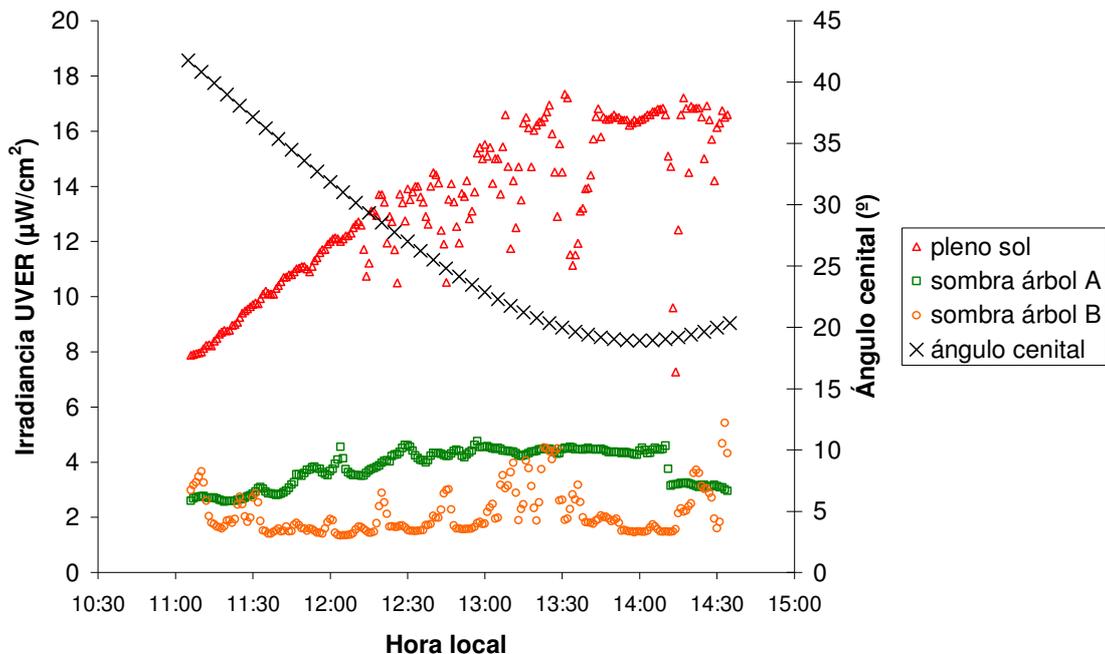


Figura 5.15.- Valores de irradiancia a la sombra del árbol A, a la sombra del árbol B y a pleno sol para un día de la época de julio-septiembre

Como comentarios del análisis realizado con valores de irradiancia, se puede indicar en primer lugar que, también en esta época del año, la irradiancia recibida bajo la sombra del árbol de tipo A es superior a la recibida bajo la sombra del árbol B. Ello se debe a la mayor densidad de follaje de este último.

Los valores que se van ligeramente de la tendencia del resto de puntos, principalmente en el caso del árbol de tipo B, se deben a los huecos que pueden existir entre el follaje del árbol y que suponen que en un momento dado penetre más radiación a través del mismo.

Se puede observar que en las primeras horas de medida, los valores de irradiancia medidos bajo la sombra del árbol de tipo A y del tipo B se aproximan un poco más a los valores de irradiancia en la posición de pleno Sol que a mediodía. Las diferencias se muestran en la tabla 5.27.

Tabla 5.27.- Diferencias entre la exposición en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B respecto a pleno sol a las 10:00h y a las 13:30h. para la época de julio-septiembre.

Hora	Sombra árbol A ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Sombra árbol B ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Pleno sol ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Diferencia sombra-sol (%)	
				árbol A	árbol B
11:15	2,71	1,76	8,39	67,7	79,02
14:00	4,41	1,48	16,4	73,10	90,98

Ello se debe principalmente al hecho de que en estas primeras horas de medida, el ángulo cenital solar tiene sus valores más elevados. La radiación debe recorrer un camino más grande hasta llegar a la superficie y por lo tanto se da con mayor intensidad el fenómeno de la dispersión de Rayleigh, lo cual se traduce en una mayor cantidad de radiación solar difusa sobre la global.

A mediodía, con el ángulo cenital solar mayor, el porcentaje de difusa disminuye y por lo tanto la cantidad de radiación recibida bajo el árbol dista bastante más de la recibida a pleno Sol, concretamente para el árbol de tipo B es un **90%** menor.

La variación de la componente difusa a lo largo del día se pone de manifiesto más claramente en la figura 5.16, donde se representa el **cociente de exposición, CE**.

Se observa que el porcentaje de difusa respecto al pleno Sol para el árbol de tipo A alcanza un valor de **29,26%** para las 11:18h de la mañana mientras que el árbol de tipo B llega al **18,29%** a esa misma hora.

Este efecto va disminuyendo conforme avanza el día y el ángulo cenital decrece. El porcentaje de irradiancia difusa se va haciendo menor y alcanza valores ligeramente superiores al **18,40%** en el árbol tipo A y de apenas un **8,91%** para el más tupido árbol tipo B a las 14:23h.

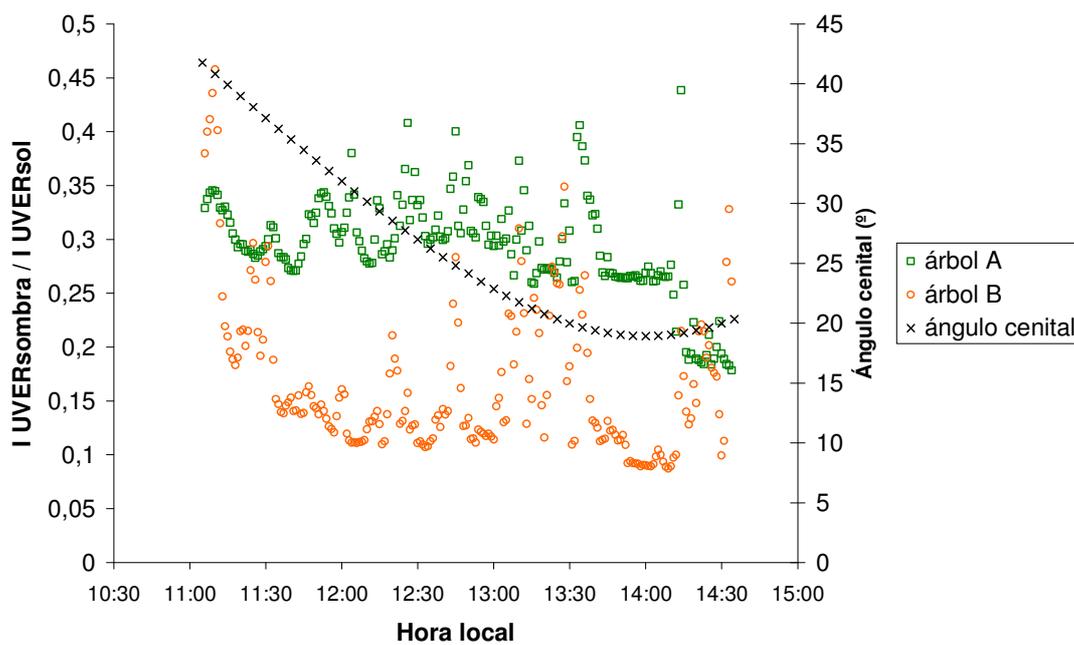


Figura 5.16.- Cociente de exposición de la irradiancia recibida en la sombra del árbol respecto a la recibida a pleno sol para el árbol A y el árbol B en la época de julio-septiembre

5.4.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS ÁRBOLES SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE OCTUBRE-NOVIEMBRE-DICIEMBRE

5.4.1.- Dosis de radiación UVER recibida

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, han sido los que se muestran en la tabla 5.28.

Tabla 5.28.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para la época de octubre-noviembre-diciembre en el caso de árboles.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Cond. Cielo (okta)
octubre	19	10:15	16:10	17,80	63,86	1,77	485,08		60,89	2
	21	10:10	16:00	18,15	46,45	7,13	496,25		61,50	1
	22	10:15	16:00	18,29	55,66	8,18	513,11	299	61,74	1
	23	10:15	15:00	20,04	42,62	3,46	477,65	272	62,11	1
	26	9:35	15:10	22,86	58,05	1,96	466,31	273	62,99	1
	27	9:40	15:30	20,99	65,16	1,75	454,28	267	63,28	1
noviembre	2	9:35	15:25	23,22	41,58	2,67	423,82	289	64,93	1
	10	9:40	15:15	14,59	34,93	3,27	346,70	274	66,90	3
	12	9:30	15:30	19,29	45,67	2,01	405,93	255	67,35	2
	26	9:50	15:15	18,27	50,56	2,65	358,42		69,94	2
diciembre	1	9:50	15:10	12,13	32,05	6,46	365,49		70,61	1
	3	10:10	14:00	15,32	46,86	5,00	266,50	305	70,76	4
	9	9:50	15:10	14,06	58,53	1,95	319,39	270	71,29	1

Las variables de la tabla 5.28 se han explicado en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta campaña de medidas del año fueron en total **16**, midiéndose en las posiciones que se indican en la tabla 5.29.

Tabla 5.29.- Días de medida para cada posición en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Posición	Días de medida
Sombra del árbol A	19/10, 21/10, 22/10, 23/10, 26/10, 27/10, 2/11, 10/11, 12/11, 26/11, 1/12, 3/12, 9/12
Sombra del árbol B	19/10, 21/10, 22/10, 23/10, 26/10, 27/10, 2/11, 10/11, 12/11, 26/11, 1/12, 3/12, 9/12
Pleno sol	19/10, 21/10, 22/10, 23/10, 26/10, 27/10, 2/11, 10/11, 12/11, 26/11, 1/12, 3/12, 9/12

Como se ha comentado anteriormente, y debido al hecho de que se están analizando los datos individualmente de cada campaña, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto a pleno Sol como en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B.

Para obtener los valores de la tabla 5.30, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en tomar los dosímetros empleados en cada posición objeto de estudio (sombra del árbol A, sombra del árbol B y pleno sol) y se han sumado los registros de irradiación UVER de cada uno de ellos al final de la campaña de medidas.

Así, para cada posición, se obtiene la irradiación UVER acumulada para esta campaña de medidas como resultado de sumar los registros de los dosímetros empleados.

Tabla 5.30.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para octubre-noviembre-diciembre.

Posición del dosímetro	UVER (J/m ²)
Sombra del árbol A horizontal	4226
Sombra del árbol B horizontal	2758
Pleno sol horizontal	11269

En la figura 5.17 se representan dichos valores.

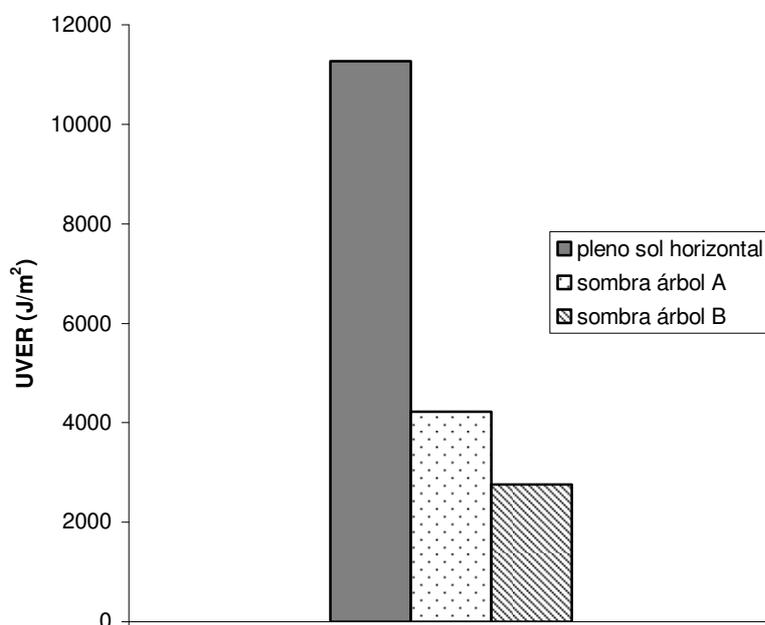


Figura 5.17.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, en la sombra del árbol A y en la sombra del árbol B para octubre-noviembre-diciembre.

En la figura 5.17, se observa, como ha sucedido en otras épocas del año analizadas, como existe una diferencia importante entre la posición a pleno Sol y la posición al resguardo en la sombra de un árbol. Sin embargo, también se hace patente el hecho de que, incluso en la época de invierno, se pueden recibir cantidades significativas de dosis de radiación UVER en la sombra, procedentes de la componente difusa de la radiación solar.

En la tabla 5.31 se muestran los valores del **cociente de exposición CE**, para cada tipo de árbol.

Tabla 5.31.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en octubre-noviembre-diciembre.

Árbol	UVER sombra / UVER sol
A	0,38
B	0,24

En la figura 5.18 se representan dichos valores.

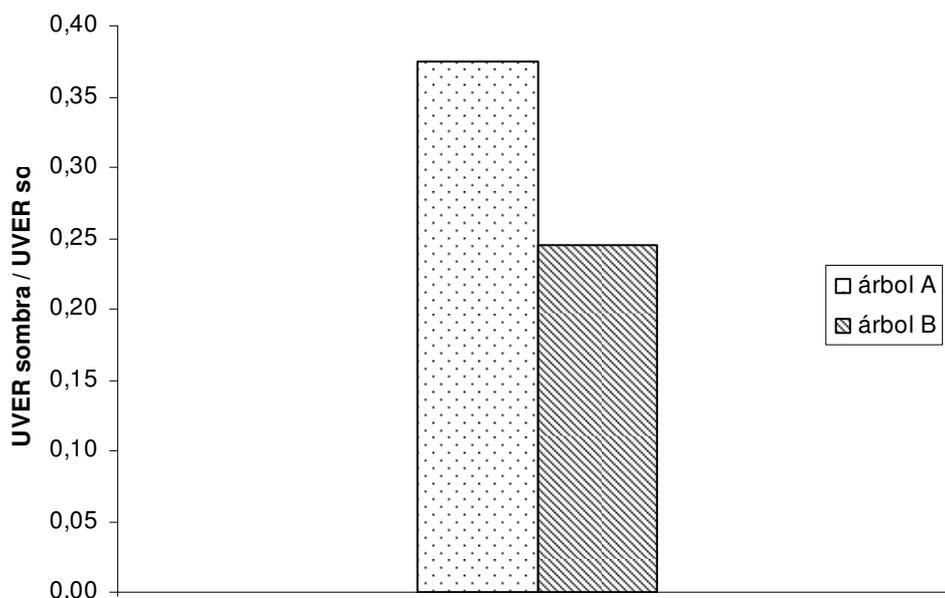


Figura 5.18.- Cociente de exposición para cada tipo de árbol en octubre-noviembre-diciembre

En esta época del año, el ángulo cenital solar medio es bastante elevado lo que provoca, a la vista de la figura 5.18, como en el árbol B, de mayor densidad de follaje, existe un menor porcentaje de radiación UVER en la sombra del árbol respecto al Sol en comparación con el árbol de follaje menos denso (A), concretamente un **36,84%** menos.

Este resultado era esperable, ya que al aumentar la densidad de la copa del árbol, la cantidad de radiación global que deja pasar a través de él es menor.

En la tabla 5.32, se muestra el valor del **factor de protección FPUVER**.

Tabla 5.32.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de octubre-noviembre-diciembre

Árbol	UVER sol / UVER sombra
A	2,67
B	4,09

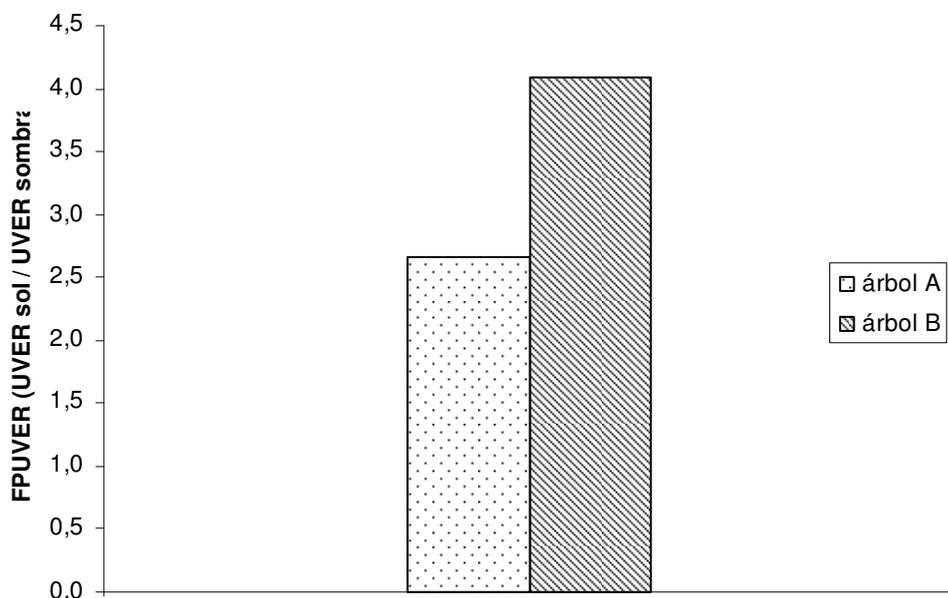


Figura 5.19.- FPUVER para cada tipo de árbol en la época de octubre-noviembre-diciembre

El valor relativamente bajo de los factores de protección para ambos árboles se debe principalmente a la época del año en que se han realizado las medidas. Para estos meses, el ángulo cenital solar tiene los valores promedios más elevados de todo el año; concretamente para los días de medida en estos meses del año, el ángulo cenital alcanzó un valor promedio de **65,71°** (ver figura 5.4). Ello implica que el camino que debe atravesar la radiación hasta llegar a la superficie de la Tierra es mayor. La consecuencia es que la radiación, en su camino, sufre una mayor dispersión por las moléculas que encuentra a su paso (dispersión Rayleigh) y por tanto, la cantidad de radiación difusa que llega a la superficie es mayor. Esto se traduce en un mayor porcentaje de radiación difusa (como se ha analizado en el apartado anterior) y por tanto un menor valor del FPUVER.

También se puede observar en la figura 5.19, como el árbol con mayor densidad de follaje (B) proporciona una mayor protección frente a la radiación eritemática recibida. Concretamente el árbol tipo B se muestra para esta época del año un **36,84 %** más efectivo que el árbol tipo A.

5.4.2.- Tiempo hasta el eritema

En primer lugar, se muestra en la tabla 5.33 en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de octubre-noviembre-diciembre.

Tabla 5.33.- Horas totales de medida para octubre-noviembre-diciembre

Posición	Horas de medida
Sombra del árbol A	71h 15min
Sombra del árbol B	71h 15min
Pleno sol	71h 15min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

Se puede calcular para cada fototipo de piel el tiempo para el cual le podría empezar a aparecer un eritema en la piel a la persona. Los valores calculados se muestran en la tabla 5.34.

Tabla 5.34.- Tiempo hasta la aparición de eritema para la época de octubre-noviembre-diciembre

	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
Sombra árbol A	3h22min	4h13min	5h54min	7h35min	9h16min	10h58min
Sombra árbol B	5h10min	6h28min	9h3min	11h38min	14h13min	16h48min
Pleno sol	1h16min	1h35min	2h13min	2h51min	3h29min	4h7min

Se puede apreciar como en esta época del año pese a que para algún fototipo de piel podría incluso aparecer eritema a pleno sol, sin embargo en la sombra de un árbol, pese a que éste sea poco frondoso el eritema no aparecería en menos de 3h 22 minutos, lo cual se traduce en que los árboles para esta época del año sí suponen una protección efectiva frente a la radiación UVER.

5.4.2.- Medidas de irradiancia diaria

Con la metodología empleada en la que se utilizan los dosímetros como medida de la radiación incidente, no es posible evaluar los cambios en la radiación eritemática recibida a lo largo de un día.

Es por ello que, como complemento a las dosis medidas con los dosímetros, se ha efectuado una medida puntual empleando los radiómetros y registrando por tanto valores de irradiancia para un día medio.

Las medidas se efectuaron en los días que se muestran en la tabla 5.35:

Tabla 5.35.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros en la época de octubre-noviembre-diciembre para el caso de árboles

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Cond. Cielo (okta)
noviembre	9 (A,S)	11:09	15:10	16,43	32,64	4,97	426	274	66,67	1
	12 (B,S)	11:09	15:10	19,29	45,67	2,01	405	255	67,35	2

donde:

A: radiómetro colocado a la sombra del árbol A.

B: radiómetro colocado a la sombra del árbol B.

S: radiómetro colocado a pleno sol.

Se han promediado los valores obtenidos de irradiancia en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ para cada uno de los días y se han representado los valores en la figura 5.20 junto al valor instantáneo medio del ángulo cenital solar para los días de medida.

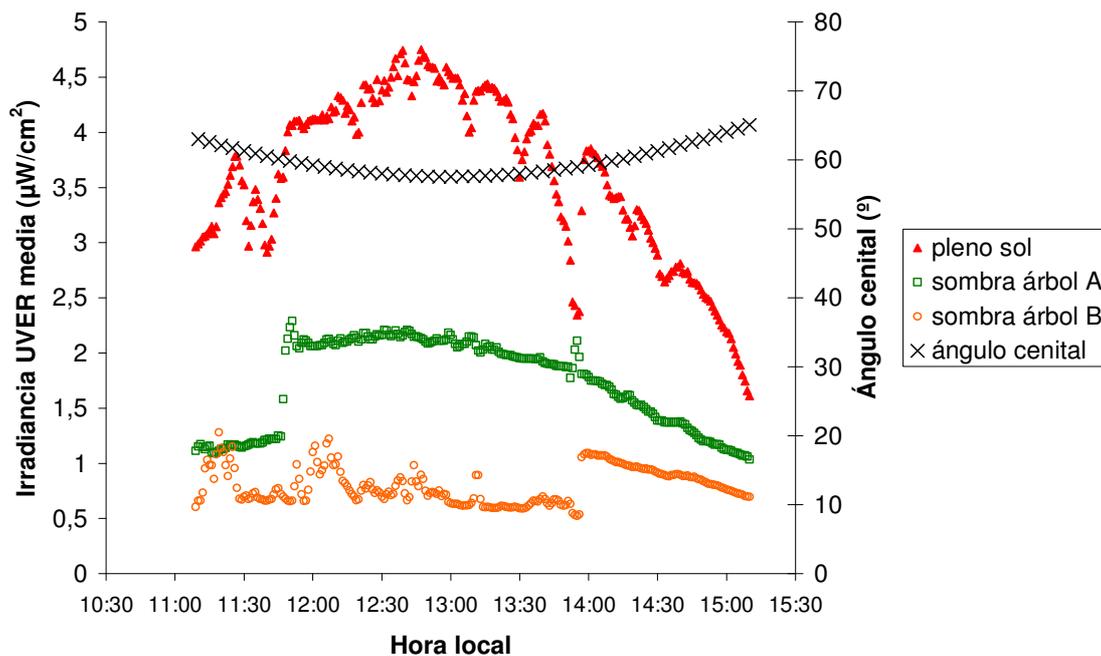


Figura 5.20.- Valores de irradiancia para un día del mes de noviembre

También se puede observar en esta época que la irradiancia recibida bajo la sombra del árbol de tipo A es sensiblemente superior a la recibida bajo la sombra del árbol B a lo largo de un día. Ello se debe a la mayor densidad de follaje de este último y al efecto de filtro de la radiación asociado.

Los valores que se van ligeramente de la tendencia del resto de puntos, tanto en el árbol A como en el árbol B, se debe a los huecos que pueden existir entre el follaje

del árbol y que suponen que en un momento dado penetre más radiación a través del mismo.

A la vista de la figura 5.20, se puede concluir que a partir de las **15:00 horas** locales, momento en que el Sol se encuentra ya más bajo y que el ángulo cenital es mayor, los valores de irradiancia registrados a pleno Sol y bajo la sombra del árbol A y del árbol B tienen una mayor similitud. Ello se debe principalmente al hecho de que en estas horas extremas del día, el ángulo cenital solar tiene sus valores más elevados. La implicación inmediata es que la radiación debe recorrer un camino más grande hasta llegar a la superficie y por lo tanto, se da con mayor intensidad el fenómeno de la dispersión de Rayleigh, lo cual se traduce en una mayor cantidad de radiación solar difusa sobre la global.

Otro aspecto relevante son las variaciones diurnas de la irradiancia UVER en términos absolutos, tanto en la sombra como a pleno Sol. En la figura 5.20 se observa como para la posición a pleno Sol a las 13:00h se tiene una irradiancia UVER de $4,52 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, mientras que a las 15:10h ese valor se reduce hasta $1,61 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, es decir una variación de **$2,91 \mu\text{W}/\text{cm}^2$**

Para la sombra de un árbol de tipo A, a las 13:00h se tiene una irradiancia UVER de $2,16 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ mientras que a las 15:10h ese valor se reduce hasta a $1,03 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, es decir una variación de **$1,13 \mu\text{W}/\text{cm}^2$** . Para el árbol tipo B, a las 13:00h se tiene una irradiancia UVER de $0,63 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ mientras que a las 15:10h ese valor llega hasta $0,69 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, es decir una variación de **$0,06 \mu\text{W}/\text{cm}^2$** .

Esto nos lleva a deducir que, conforme la densidad del follaje del árbol es mayor, esto es, cuanto mayor es la barrera que opone el árbol al paso de la radiación, menor es la variación diurna que experimenta en cuanto a la irradiancia UVER recibida.

La variación de la componente difusa a lo largo del día se pone de manifiesto más claramente en la figura 5.21, donde se representa el **cociente de exposición, CE**.

Se observa que el porcentaje de difusa respecto al pleno Sol para el árbol de tipo A alcanza un valor de **64,2%** a las 15:10h mientras que el árbol de tipo B llega al **43,1%**. Estos valores disminuyen en los momentos en que el valor del ángulo cenital es menor. Para las 13:00h, el porcentaje de irradiancia difusa alcanza valores de **47,8%** en el árbol tipo A y de un **14%** para el más tupido árbol tipo B.

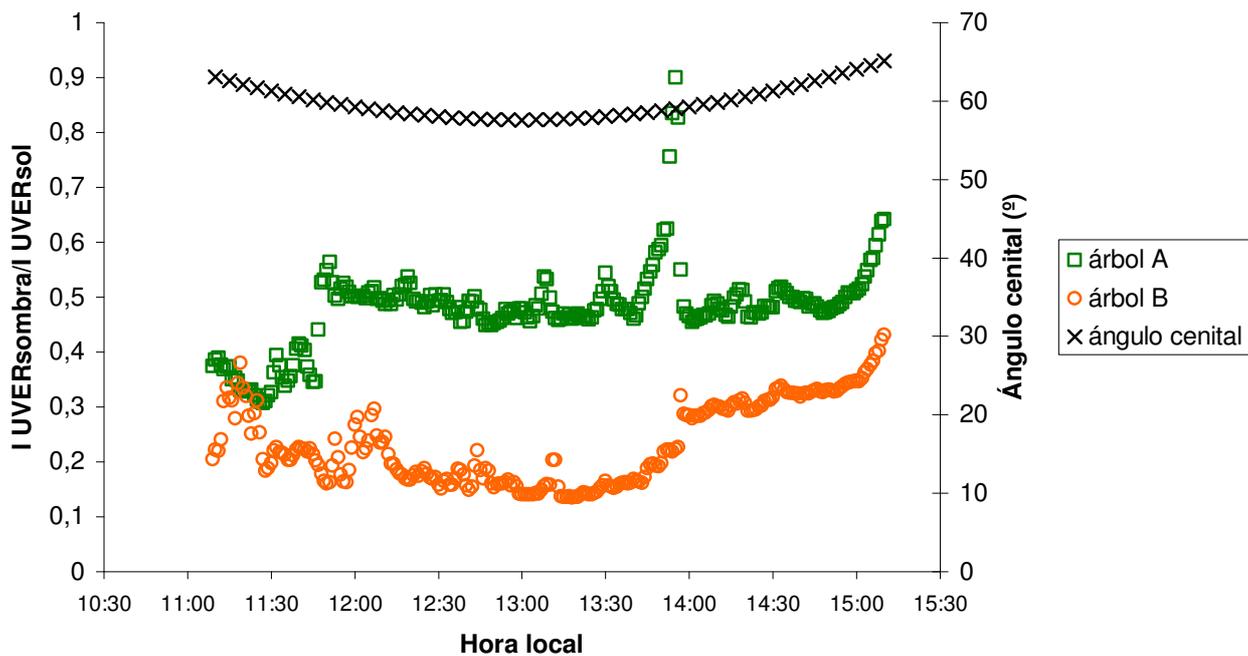


Figura 5.21.- Cociente de exposición en un día promedio del mes de noviembre

5.5.- COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS PARA TODO EL AÑO

5.5.1.- Dosis de radiación UVER recibida

En los apartados precedentes se ha analizado la radiación ultravioleta eritemática incidente a pleno Sol y bajo la sombra de dos árboles diferentes para distintas épocas del año separadamente.

Sin embargo, el porcentaje de radiación en la sombra respecto a pleno sol puede cambiar con la estación del año y con la hora del día, debido a los cambios en las proporciones relativas de radiación directa y difusa debido a factores como la variación del ángulo cenital. Este factor tiene mucha importancia en la dosis recibida, ya que para una superficie horizontal, como en el caso de estudio, el ángulo cenital coincide con el ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre la superficie. Así, cuanto menor sea este ángulo de incidencia o ángulo cenital, más perpendicularmente incidirán los rayos sobre la superficie y por lo tanto, mayor intensidad tendrán.

En este apartado, se trata de efectuar un análisis comparativo de las medidas efectuadas en diferentes épocas del año.

Se ha medido a lo largo de todo el año 2009, dividiendo las campañas de medida en las siguientes épocas:

- febrero-marzo-abril
- mayo-junio
- julio-septiembre
- octubre-noviembre-diciembre

Se han calculado los valores promedio entre los días de medida del ángulo de incidencia de los rayos sobre una superficie horizontal, de forma que se puedan comparar dichos valores con los valores de dosis que se han obtenido para cada época del año. Los resultados se muestran en la tabla 5.36.

Tabla 5.36 Valores de θ_H , ángulo de incidencia sobre superficie horizontal promedio entre los días de medida.

Época del año	θ_H (°)
febrero-marzo-abril	55,27
mayo-junio	35,83
julio-septiembre	44,11
octubre-noviembre-diciembre	65,71

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, en este punto se van a comparar las relaciones entre la dosis de radiación medida bajo las sombras de los árboles y la medida a pleno sol.

5.5.1.1.- Cociente de exposición

El primer parámetro que se analiza en la tabla 5.37 es el cociente de exposición para cada época del año y para cada tipo de árbol.

Tabla 5.37.- Cociente de exposición UVER sombra / UVER a pleno sol para todas las épocas del año

Árbol	feb-mar-abr	may-jun	jul-sep	oct-nov-dic
A	0,38	0,25	0,29	0,38
B	0,31	0,11	0,13	0,24

En la figura 5.22 se ha representado el valor del cociente de exposición para cada época y para los dos árboles y también el valor medio del ángulo cenital solar en los días en que tuvieron lugar las medidas en cada época del año.

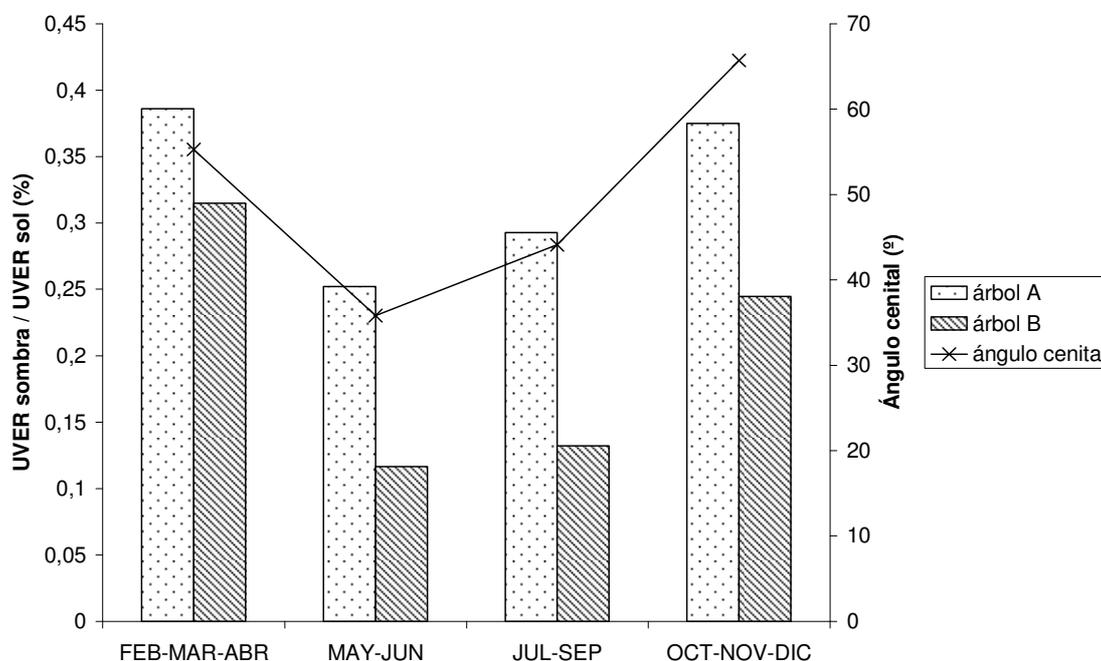


Figura 5.22.- Variación del cociente de exposición a lo largo del año para los árboles A y B.

Se puede observar en la figura 5.22 que el cociente de exposición es mayor para las épocas de invierno (febrero-marzo-abril y octubre-noviembre-diciembre) que para las épocas de verano (mayo-junio y julio-septiembre).

El valor medio del cociente de exposición en los meses de invierno (febrero-marzo-abril y octubre-noviembre-diciembre) resulta de **0,38** para el árbol A y de **0,27** para el árbol B. Sin embargo este cociente solo alcanza, en valor medio, para los meses de verano (mayo-junio y julio-septiembre) un **0,27** para el árbol A y un **0,12** para el árbol B.

Es decir, que se produce una disminución de la proporción de difusa de invierno a verano en un **28,9%** para el árbol A y en un **55,5%** para el árbol B.

Esta tendencia del valor del cociente de exposición, como se observa en la figura 5.22, guarda estrecha relación con la evolución de la posición del Sol en la esfera celeste, es decir, con el ángulo cenital.

En la época de invierno, el ángulo cenital solar tiene un valor más elevado. La consecuencia inmediata es que la radiación solar tiene que atravesar un camino más largo hasta llegar a la superficie terrestre y, por ello, los fenómenos de dispersión Rayleigh se dan con mayor intensidad provocando una mayor presencia de la radiación difusa sobre la global.

En cambio, conforme el ángulo cenital solar va disminuyendo, es decir, conforme avanzan los meses hacia el verano, este efecto se va invirtiendo ya que el recorrido de la radiación solar se reduce y con él los fenómenos de dispersión atmosférica, de forma que llega mayor proporción de radiación directa que de radiación difusa a la superficie. Por tanto, la cantidad de radiación difusa va decreciendo en porcentaje sobre la radiación global.

Por otro lado, y como también se ha comentado en el análisis particular de cada época del año, los valores de estos cocientes de exposición son, en todos los casos, mayores para el caso del árbol de tipo A (menos denso) que para el árbol de tipo B (más denso). Ello obedece al hecho de que en el árbol más denso, la cantidad de radiación global que penetra es menor, ya que encuentra más dificultades en su camino derivadas de la presencia de las hojas del árbol. Como la radiación global es la suma de la radiación directa y la radiación difusa, al reducirse la radiación global que penetra, también se reduce la cantidad de difusa, y por lo tanto, como el valor de la radiación a pleno sol se mantiene constante, el valor del cociente total entre la radiación a la sombra y a pleno sol disminuye.

Hay otro punto destacable a la observación de estos resultados. Y es el hecho de que la variación en el valor del cociente de exposición se produce más bruscamente en el árbol más denso (B) que en el menos denso (A). Para el árbol A existe una variación de un **28,9%** entre el valor del cociente de exposición en los meses de invierno y en los meses de verano, mientras que para el caso del árbol B esa variación se sitúa en un **55,5%**.

Este fenómeno se explica por la suma de dos factores que intervienen en este proceso: por un lado el cambio del valor del ángulo cenital solar y por otro la densidad del follaje del árbol.

Para el caso del árbol A, menos denso, en invierno con un ángulo cenital elevado, recoge una cantidad importante de radiación difusa, como ya se ha comentado; esta radiación difusa va disminuyendo conforme disminuye el ángulo cenital, sin embargo no lo llega a hacer demasiado, debido al hecho de que su poca densidad de follaje sigue permitiendo la penetración de gran cantidad de radiación difusa, por lo cual este valor del ratio disminuye pero de manera muy suave.

En cambio en el caso del árbol de tipo B, más denso, también sufre la penetración de una importante cantidad de difusa en invierno que sin embargo se ve más bruscamente reducida al disminuir el ángulo cenital ya que a este hecho se le suma el factor de su densidad de follaje que le permite bloquear una cantidad extra de radiación

difusa que por tanto no llega a la superficie y que se traduce en un descenso mucho más pronunciado del valor del cociente de exposición para este tipo de árbol en los meses de verano.

5.5.1.2.- Factor de protección de la radiación ultravioleta eritemática, FPUVER

A continuación, se analiza en la tabla 5.38 el parámetro del FPUVER, factor de protección de la radiación UVER. Como se ha comentado, este parámetro se define como el valor inverso del cociente de exposición.

Tabla 5.38.- FPUVER (UVER sol / UVER sombra)

Árbol	feb-mar-abr	may-jun	jul-sep	oct-nov-dic
A	2,59	3,97	3,42	2,67
B	3,17	8,58	7,56	4,09

En la figura 5.23 se ha representado el valor del factor de protección de la radiación ultravioleta eritemática, FPUVER, para cada época y para los dos árboles y también el valor medio del ángulo cenital solar en los días en que tuvieron lugar las medidas en cada época del año.

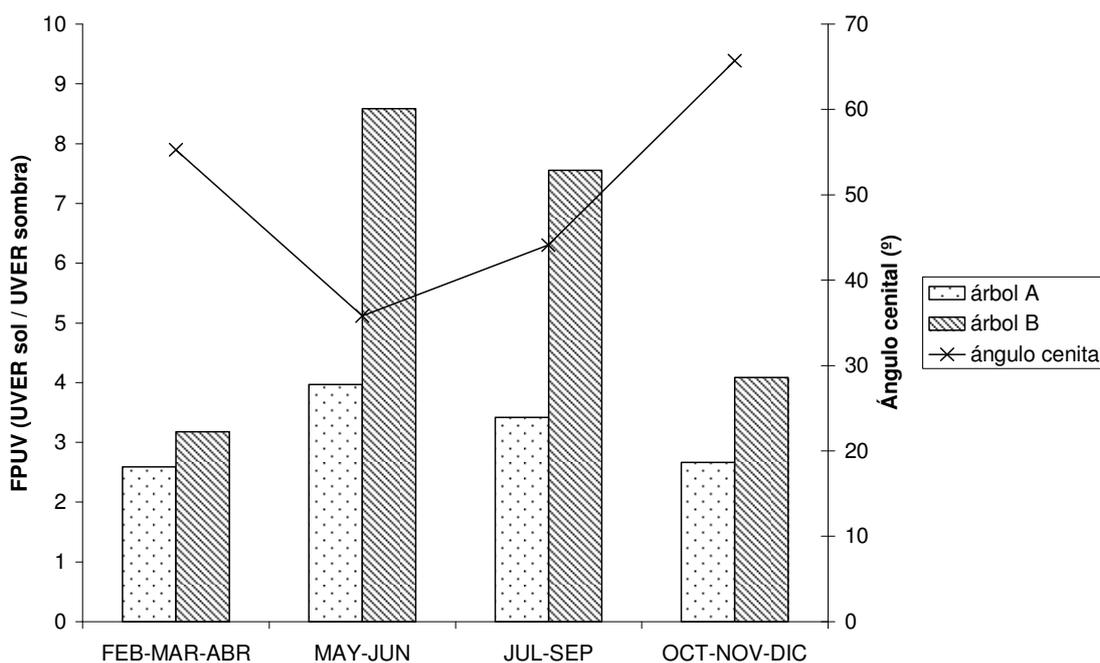


Figura 5.23.- Comparativa del FPUVER a lo largo del año para los árboles A y B.

El primer dato destacable del análisis detallado de la figura 5.23 es el hecho de que ninguno de los dos árboles en ninguna época del año alcanza un valor de factor de protección de 9 puntos. En general, se puede considerar que un factor de protección inferior a 10 puntos, para cualquier especie de árbol, es insuficiente de cara a una protección efectiva ante la radiación ultravioleta eritemática (Gies, Elix et. al. 2005).

Esto refuerza la idea de que la sombra de los árboles debe ser empleada en conjunción con otras estrategias de protección personales como gorras, gafas de sol o sombrillas para asegurar una protección efectiva frente a la radiación ultravioleta eritemática.

Otro aspecto importante es que, independientemente de la época del año, el árbol B se muestra más efectivo que el árbol A en la protección frente a la radiación UVER. El motivo fundamental es la mayor densidad de su follaje. Esta superioridad en cuanto al factor de protección es menos clara en los meses de invierno que en los meses de verano. Por ejemplo, para la época de febrero-marzo-abril, el árbol B es tan solo un **18,29%** más efectivo que el árbol A; en cambio en los meses en que el ángulo cenital es menor (meses de mayo-junio) esta diferencia de efectividad en la protección aumenta hasta un **53,7%**.

5.5.2.- Tiempo hasta la aparición de eritema en la piel

En la tabla 5.39 se muestra un resumen de los tiempos para los que podría aparecer un eritema en la piel en las tres posiciones que han sido objeto de estudio (bajo la sombra del árbol A, bajo la sombra del árbol B y a pleno Sol), para cada fototipo de piel y en cada época del año.

Tabla 5.39.- Tiempo hasta la aparición de eritema en la piel para cada época del año para el caso de árboles.

	Febrero-marzo-abril	Mayo-junio	Julio-septiembre	Octubre-noviembre-diciembre
Piel Tipo I				
Sombra árbol A	2 h 59 min	1 h 45 min	1h45min	3h22min
Sombra árbol B	3 h 39 min	3 h 47 min	3h51min	5h10min
Pleno sol	1 h 9 min	26 min	31min	1h16min
Piel Tipo II				
Sombra árbol A	3 h 44 min	2 h 11 min	2h11min	4h13min
Sombra árbol B	4 h 34 min	4 h 44 min	4h49min	6h28min
Pleno sol	1 h 26 min	33 min	38min	1h35min
Piel Tipo III				
Sombra árbol A	5 h 13 min	3 h 4 min	3h3min	5h54min
Sombra árbol B	6 h 24 min	6 h 38 min	6h45min	9h3min
Pleno sol	2 h 1 min	46 min	54min	2h13min
Piel Tipo IV				
Sombra árbol A	6 h 43 min	3 h 56 min	3h55min	7h35min
Sombra árbol B	8 h 14 min	8 h 32 min	8h41min	11h38min
Pleno sol	2 h 35 min	59 min	1h9min	2h51min
Piel Tipo V				
Sombra árbol A	8 h 13 min	4 h 49 min	4h48min	9h16min
Sombra árbol B	10 h 4 min	10 h 26 min	10h37min	14h13min
Pleno sol	3 h 10 min	1 h 12 min	1h24min	3h29min
Piel Tipo VI				
Sombra árbol A	9 h 42 min	5 h 41 min	5h40min	10h58min
Sombra árbol B	11 h 53 min	12 h 20 min	12h32min	16h48min
Pleno sol	3 h 44 min	1 h 26 min	1h40min	4h7min

A la vista de la comparación realizada en la tabla 5.39, se pueden confirmar algunas conclusiones que ya se habían apuntado en apartados anteriores. Los meses de verano, como por otra parte era de esperar, son aquellos en los que más rápidamente se puede producir un eritema. Sin embargo la época de mayo y junio sorprendentemente se muestra como la más peligrosa de cara a la aparición de eritema.

Este dato tiene su explicación en el hecho de que en los meses de mayo y junio el valor del ángulo cenital es cuando alcanza su valor promedio mínimo para todo el año, **35,83°** valor que es inferior incluso al de los meses de julio-septiembre, en los que alcanza un valor promedio de **44,11°** (ver tabla 5.36). Es por ello que, pese a que los tiempos hasta el eritema son muy similares, hay posiciones en las que puede aparecer un eritema más rápidamente en la época de mayo y junio que en la de julio-septiembre.

También hay que destacar el hecho de que, si se selecciona un tipo de piel cualquiera y se analiza la evolución de los tiempos hasta la aparición del eritema a lo largo del año, se observa como para el caso de la sombra del árbol A, el tiempo es mayor en los meses de invierno y se reduce claramente para los meses de verano; sin embargo en la posición de la sombra del árbol B, se observa como no solo los tiempos en verano no disminuyen sino que incluso aumentan un poco. Este es un hecho que refuerza la idea que se apuntaba cuando se analizaba el factor FPUVER y se comentaba que la efectividad del árbol B era mayor en los meses de verano que en los meses de invierno.

Por último, puede ser interesante resaltar algún resultado entre diferentes situaciones para poner de manifiesto la importancia de los factores como son la posición del Sol a lo largo del año, el tipo de piel o el tipo de árbol bajo el cual estemos buscando protección.

Así, por ejemplo, de las innumerables combinaciones y comparaciones que se pueden realizar, se ha seleccionado el caso de una persona de piel **Tipo I** y una persona de piel **Tipo II**. La primera está descansando al amparo de la sombra de un árbol en un soleado día de julio y la segunda está tomando el sol en una mañana despejada del mes de marzo. Pues bien, ambos estarían exactamente corriendo el mismo peligro de aparición de un eritema. En ambos casos sería susceptible de aparecerles pasada **1 h 30 minutos** aproximadamente.

5.5.3.- Irradiancia diaria media

A continuación se muestra el estudio comparativo entre las irradiancias diarias medias recibidas en los días seleccionados de cada época del año. Este estudio permite complementar al efectuado en el apartado 5.5.1 en el que se analizaba la radiación como dosis recibida en un período de tiempo.

En este caso, se analiza la evolución de la irradiancia diaria media a lo largo de todo el año.

En las figuras 5.24 a 5.26 se muestra la evolución de la irradiancia diaria media a lo largo de un día medio en la posición a pleno Sol, bajo la sombra del árbol A y bajo la sombra del árbol B respectivamente.

No se ha representado en estos casos el valor del ángulo cenital debido a que éste varía en función de la época del año.

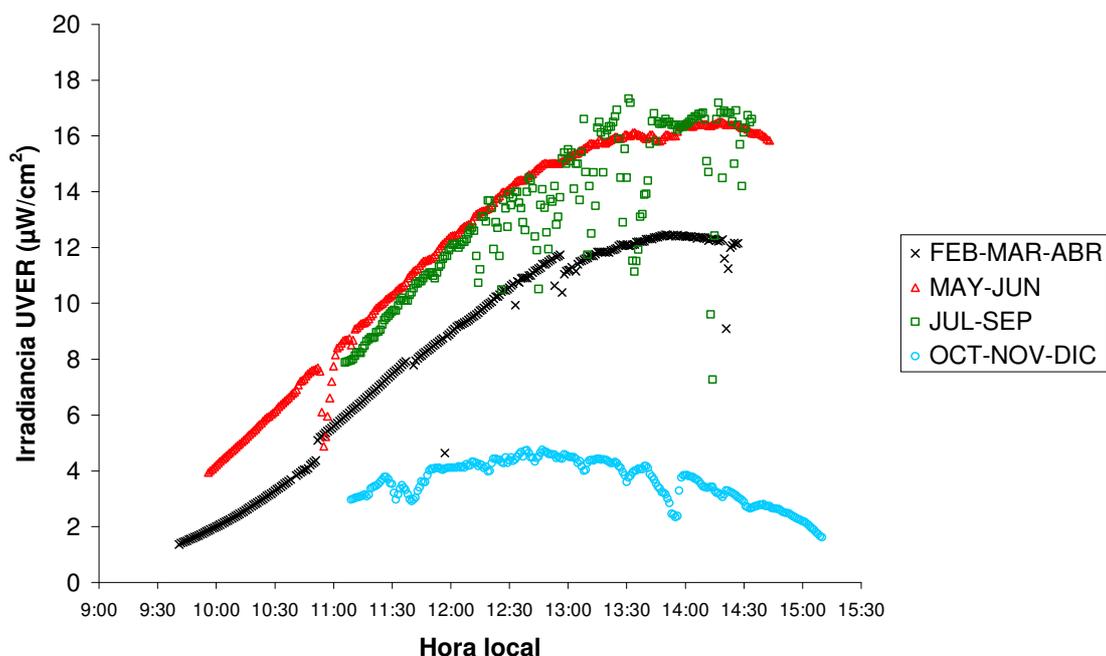


Figura 5.24.- Irradiancia diaria media a pleno Sol para las distintas épocas del año en días promedio de medida.

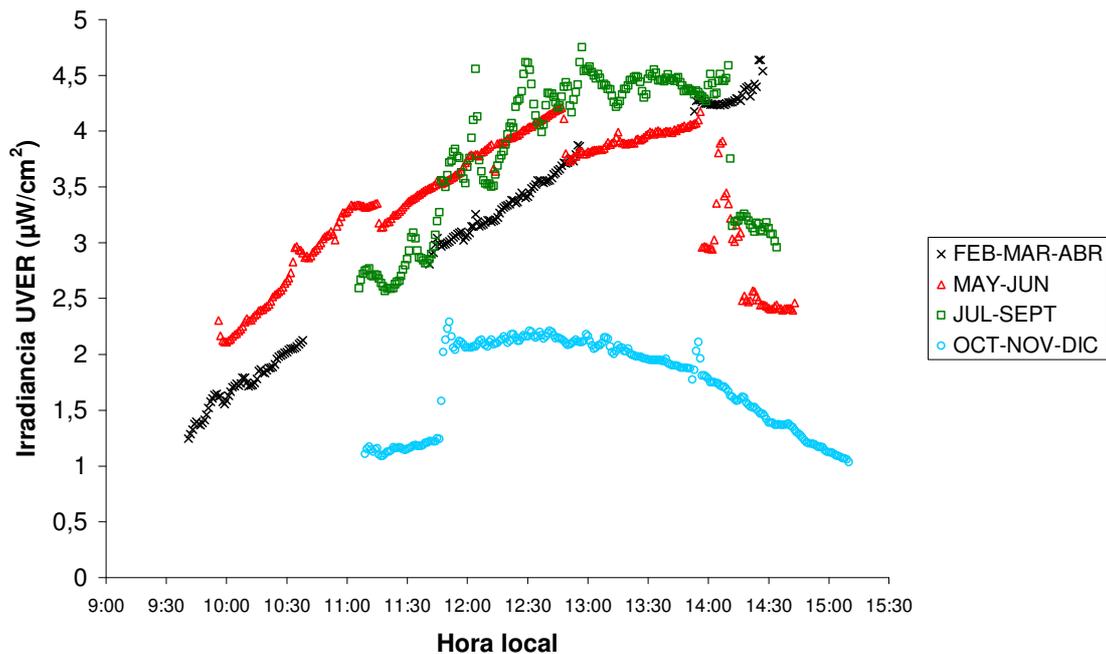


Figura 5.25.- Irradiancia diaria media bajo la sombra del árbol A para las distintas épocas del año en días promedio de medida.

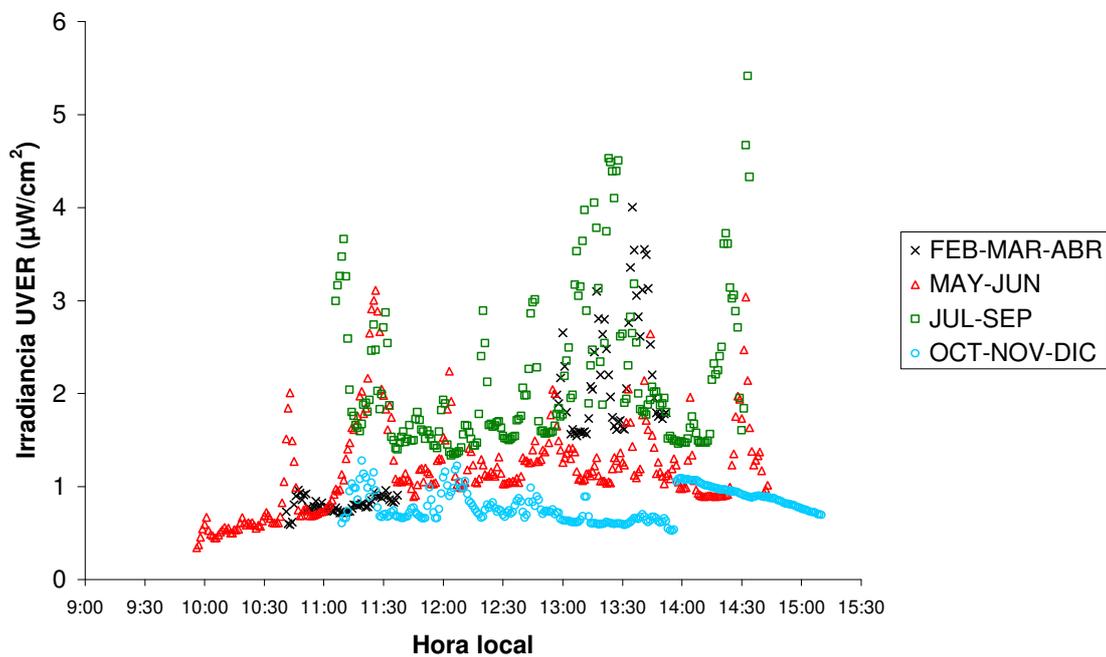


Figura 5.26.- Irradiancia diaria media bajo la sombra del árbol B para las distintas épocas del año en días promedio de medida.

Se puede observar como, tanto en el caso de la posición a pleno Sol como bajo la sombra del árbol A o del árbol B, los valores mayores de irradiancia se dan en los meses de verano (mayo-junio y julio-septiembre), que son aquellos en que el ángulo cenital es menor y con clara diferencia, la época en que menor intensidad tiene la radiación es la de octubre-noviembre-diciembre.

Si se comparan las figuras 5.25 y 5.26 de la sombra del árbol A y la sombra del árbol B respectivamente, podemos observar como en el primer caso, y debido preferentemente a la menor densidad de su follaje, se obtienen en general valores mayores de irradiancia recibida en la superficie.

Además, se puede apreciar como, para el árbol A, la gráfica presenta una pendiente más pronunciada que en el caso del árbol B en que las curvas tienen una pendiente mucho más suavizada. Esto se traduce en que el árbol B, más denso, presenta menos dependencia de la posición del Sol, mostrando un comportamiento más homogéneo a lo largo de un día que el árbol A que por el contrario es más sensible a los cambios de posición del sol a lo largo del día.

En las figuras 5.27 y 5.28, se analiza el cociente de exposición de la irradiancia UVER diaria media para todas las épocas del año en cada uno de los árboles mostrando la variación de la componente difusa en cada posición.

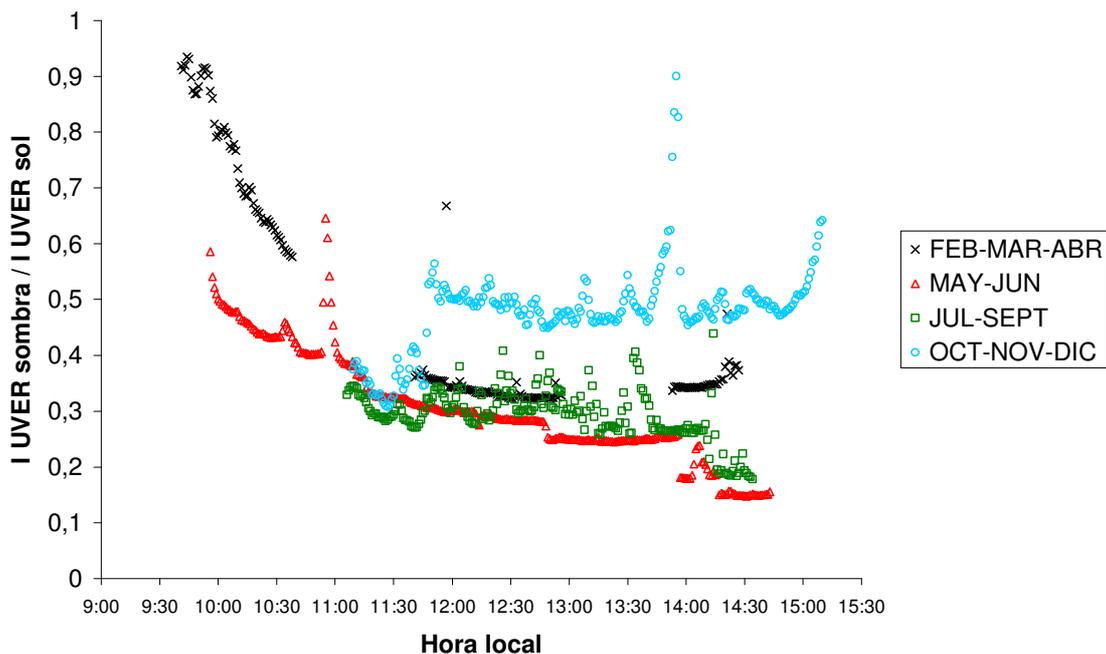


Figura 5.27.- Cociente de exposición de la irradiancia UVER bajo la sombra del árbol A para las distintas épocas del año en días promedio de medida.

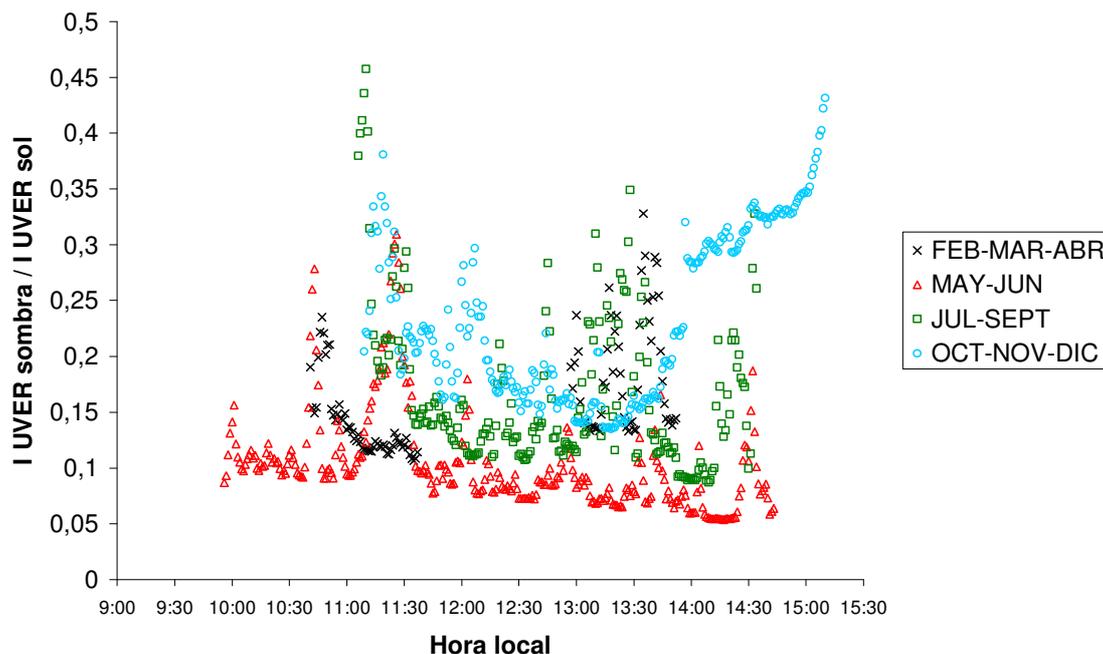


Figura 5.28.- Cociente de exposición de la irradiancia UVER bajo la sombra del árbol B para las distintas épocas del año en días promedio de medida.

En primer lugar cabe destacar el hecho de que en ambos tipos de árbol los valores del cociente de exposición, que es la proporción de difusa respecto a la global, son mayores para las épocas de invierno y concretamente para la época de octubre-noviembre-diciembre que coincide con el momento del año en que el valor del ángulo cenital medio es más elevado.

Como se explicó en apartados precedentes, este hecho se explica por el mayor camino que debe recorrer la radiación solar hasta llegar a la superficie en el caso en que el ángulo cenital es grande, lo cual provoca una mayor influencia de los fenómenos de dispersión atmosférica y por tanto un aumento de la cantidad de radiación difusa sobre la global recibida en la superficie.

Se puede observar, por otro lado, como para el árbol A, se percibe una clara variación entre los valores del cociente a primeras horas de la mañana, en las que el elevado ángulo cenital provoca la mayor presencia de irradiancia difusa y por tanto el valor más alto del cociente, y los valores hacia el mediodía en que este porcentaje de difusa va disminuyendo.

En el caso del árbol B, no se aprecia tan claramente esta tendencia o al menos no de forma tan acusada. Esto refuerza la observación extraída del estudio de la irradiancia bajo la sombra de cada árbol en que se comentaba que el comportamiento del árbol B, más denso es también más homogéneo a lo largo de un día.

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL CASO II: INFLUENCIA DE LOS MUROS VERTICALES SOBRE LA UVER

En este capítulo se analizan los resultados que se han obtenido para el caso de los muros verticales como barrera física frente a la radiación UVER recibida por las personas situadas frente a ellos. Se ha estructurado el capítulo de forma que en primer lugar se analizan los resultados para cada época del año de manera independiente y en el último apartado se comparan los resultados para todas las épocas del año.

6.1.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS MUROS VERTICALES SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE FEBRERO-MARZO-ABRIL

6.1.1.- Dosis de radiación UVER recibida

Para la toma de datos en esta época del año se ha encontrado la dificultad de la disminución considerable del número de días claros. A este factor hay que añadir el hecho de que en días aparentemente despejados, las nubes de evolución pueden llegar a cubrir el cielo en apenas unos minutos, anulando la validez de ese día de medida.

Es por esos motivos por los que, a lo largo de estos meses, el número de días de medida resulta algo inferior en comparación con otras épocas del año. Sin embargo este hecho no resulta un inconveniente, debido a que la comparación entre distintas épocas del año se ha efectuado sobre cocientes de valores y no sobre valores absolutos medidos.

El análisis de los valores absolutos medios se ha efectuado separadamente para cada época del año, de forma que no tiene influencia el que en cada época resulten diferente número de días de medida.

Con dosímetros solo se midió en febrero y marzo, mientras que con radiómetros también se midió en el mes de abril.

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, han sido los que se muestran en la tabla 6.1.

Tabla 6.1.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para el caso de muros en la época de febrero-marzo.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
febrero	27	9:40	14:30	14,38	50,80	1,49	523,53	353	59,14	51,04	3
marzo	5	10:00	14:00	12,50	43,87	8,20	537,03		57,17	53,09	4
	6	10:10	14:45	12,78	30,19	9,84	611,13	383	54,13	51,11	1
	9	9:45	13:50	16,10	48,90	3,37	620,55	316	55,83	54,50	1
	10	9:35	15:15	15,38	56,40	2,36	614,79	338	55,49	54,86	1
	13	9:30	14:40	18,59	44,24	2,62	634,23		54,46	55,93	1
	16	9:30	13:50	16,39	52,36	3,47	624,92	317	53,41	57,00	1

Las variables de la tabla 6.1 se han explicado en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta primera campaña de medidas del año fueron en total **18**, midiéndose en las siguientes posiciones dadas por la tabla 6.2.

Tabla 6.2.- Días de medida para cada posición en la época de febrero-marzo

Posición	Días de medida
Frente muro metálico en horizontal	27/2, 5/3, 6/3, 9/3, 10/3, 13/3, 16/3
Frente muro metálico en vertical	27/2, 5/3, 6/3, 9/3, 10/3, 13/3, 16/3
Frente a muro hormigón en horizontal	27/2, 5/3, 6/3, 9/3, 10/3, 13/3, 16/3
Frente a muro hormigón en vertical	27/2, 5/3, 6/3, 9/3, 10/3, 13/3, 16/3
Sin muro horizontal	27/2, 5/3, 6/3, 9/3, 10/3, 13/3, 16/3
Sin muro vertical	27/2, 5/3, 6/3, 9/3, 10/3, 13/3, 16/3

En primer lugar, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto a pleno Sol como frente a muro metálico y frente a muro de hormigón, y en posición horizontal y posición vertical.

Para obtener los valores de la tabla 6.3, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en tomar los dosímetros empleados en cada una de las seis posiciones objeto de estudio y se han sumado los registros de irradiación UVER de cada uno de ellos al final de la campaña de medidas. Como se han medido en los mismos días en las seis posiciones, las sumas de valores de UVER de los dosímetros son comparables.

Tabla 6.3.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, frente e muro metálico y frente a muro de hormigón, para febrero-marzo.

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
Horizontal muro metálico	6235
Vertical frente al muro metálico	5349
Horizontal muro hormigón	7195
Vertical frente al muro hormigón	877
Horizontal sin muro	9741
Vertical sin muro	1165

En la figura 6.1 se representan dichos valores para cada tipo de muro y para las dos posiciones (horizontal y vertical) en que se efectuó el estudio.

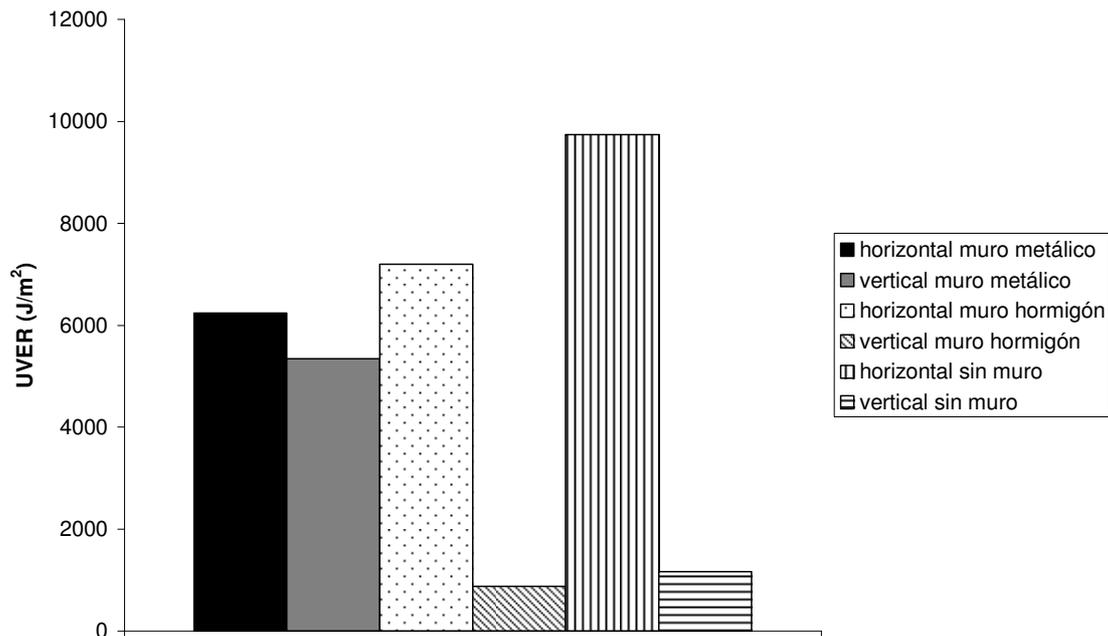


Figura 6.1.- Valores de UVER a pleno sol, frente a muro metálico y frente a muro de hormigón, para febrero-marzo.

Se puede observar, en la figura 6.1, una diferencia en la dosis recibida en función de la posición del dosímetro, de tal forma que los dosímetros colocados en posición horizontal, reciben más cantidad de radiación, en general, que los dosímetros colocados en posición vertical y de espaldas al Sol, como por otra parte es lógico.

Sin embargo, dependiendo del tipo de muro frente al que se encuentren situados, se observa una diferencia en cuanto a la dosis recibida. De tal forma que para la ubicación sin muro delante, la diferencia entre la dosis recibida en posición horizontal y la recibida en posición vertical es de un **88,04%**.

En la posición frente al muro de hormigón, se observa que esta diferencia también es importante, pero sin embargo es algo inferior, de un **87,81%**, debido a que, pese a que su influencia es poca, la presencia del muro de hormigón bloquea una parte del cielo visible por el dosímetro y disminuye la cantidad de radiación que recibe, por lo que la radiación incidente, sobretodo en posición vertical frente al muro, desciende un poco en comparación con la posición sin muro enfrente.

Finalmente, para la posición frente a muro metálico, se puede observar como esta diferencia entre posición horizontal y posición vertical se reduce considerablemente, descendiendo hasta un valor de un **14,21%** de diferencia entre la dosis recibida en la posición horizontal y la recibida en la posición vertical. Ello se debe a que el muro metálico, pese a que también bloquea parte de la radiación difusa, sin embargo compensa este efecto por la radiación que el muro metálico es capaz de reflejar a través de su superficie, de forma que incide de nuevo en el dosímetro vertical.

El efecto anterior se puede observar en el valor elevado que tiene la exposición en posición vertical frente al muro metálico en comparación con el resto de posiciones verticales.

La importante reflexión que muestra el muro de chapa de acero en esta época del año en que el ángulo cenital tiene un valor elevado (concretamente alcanza un valor promedio para los días de media de $55,66^\circ$), puede sugerir la hipótesis de que la reflexión que tiene lugar en este tipo de muro, se asemeja más a la tipología de reflexión especular que a la difusa, es decir, que la reflexión tendría lugar en la superficie del muro y adoptaría direcciones preferentes dependiendo del ángulo de incidencia de la radiación incidente.

Este efecto se ve respaldado por el dato de la figura 6.1, que en principio puede parecer anómalo, de la exposición recibida en la posición horizontal frente a muro metálico en comparación con la correspondiente frente a muro de hormigón. En este caso se observa que la dosis recibida frente a muro metálico es del mismo orden e incluso algo inferior a la recibida frente a muro de hormigón, cuando en principio cabría esperar que fuera mayor por la reflectividad de la superficie metálica. Ello puede obedecer al hecho anteriormente sugerido de la dirección preferente de reflexión del muro metálico, de tal forma que, para ángulos cenitales elevados, que por tanto hacen que no incida la radiación perpendicularmente sobre el muro metálico, éste no tiene apenas poder reflectante. Esta hipótesis, deberá comprobarse con el análisis comparativo del resto de épocas del año.

Sin embargo, para las posiciones horizontales frente a ambos tipos de muro, se puede observar en la figura 6.1, como los valores de exposición recibidos son, en todo caso, menores que aquellos recibidos en la misma posición pero sin muro enfrente. Ello indica que el efecto que tiene el muro sobre esta posición concreta es el de bloqueo de parte de la radiación difusa que le llega, ya que su presencia frente al dosímetro resta visibilidad de parte de la bóveda celeste. Este fenómeno de bloqueo de la visibilidad y disminución de la radiación, para el caso de la posición horizontal, se observa que es más acusado que el efecto de reflexión que tienen ambos tipos de muros. Esto no sucede en el caso de las posiciones verticales, en las que, como se ha mencionado anteriormente, existe un claro efecto reflectante del muro de chapa de acero, que es mucho más acusado que el del muro de hormigón, que en cambio parece bloquear más radiación de la que refleja.

Todas estas conclusiones se pueden cuantificar y clarificar con el estudio de los siguientes cocientes de exposición:

- UVER frente a muro metálico / UVER sin muro enfrente
- UVER frente a muro metálico / UVER frente a muro hormigón
- UVER frente a muro hormigón / UVER sin muro enfrente

Estos cocientes se han analizado para cada una de las posiciones, horizontal y vertical, de forma que se obtienen los valores que aparecen en la tabla 6.4.

Tabla 6.4.- Cocientes de exposición en las posiciones frente a muro metálico comparado con sin muro, frente a muro metálico comparado con frente a muro de hormigón y frente a muro de hormigón comparado con sin muro y para las orientaciones horizontal y vertical en cada caso para la época de febrero-marzo.

Posición dosímetro	Muro metálico / sin muro	Muro metálico / muro hormigón	Muro hormigón / sin muro
Horizontal	0,64	0,87	0,74
Vertical	4,59	6,10	0,75

Como se aprecia en la tabla 6.4, los valores de los cocientes de exposición para la posición horizontal frente a cualquiera de los dos muros, muestran como el efecto predominante de éstos sobre la persona expuesta, es de bloqueo de la radiación difusa más que de reflexión. En el caso del muro de hormigón se produce un bloqueo de un **26%** de la radiación que se recibiría sin tener ningún muro enfrente, y en el caso del muro de metal se produce un bloqueo de un **36%** de la radiación. Son valores similares, lo cual quiere decir que, la influencia que ambos tipos de muro tiene sobre una persona situada frente a ellos y en una parte del cuerpo con orientación horizontal, es casi igual. Esta conclusión se ve respaldada observando el valor del cociente de exposición del muro metálico frente al muro de hormigón, que tiene un valor de un **87%**, muy cercano a la unidad.

Sin embargo, para las posiciones verticales, ya se observan claramente dos comportamientos más diferenciados de los dos tipos de muro. Para esta orientación en particular, se observa que el muro de hormigón sigue teniendo un efecto de bloqueo más predominante que de reflexión, concretamente sigue bloqueando un **25%** de la radiación que recibiría si no hubiera ningún muro delante.

En cambio, en el caso del muro de chapa de acero, el efecto claro que predomina para esta orientación es el de reflexión frente al de bloqueo. De hecho en la posición vertical frente a muro se recibe un **459%** más radiación que la que se recibiría si no hubiera muro delante, y un **610%** más de la que se recibiría si hubiera en su lugar un muro de hormigón.

6.1.2.-Tiempo hasta el eritema

En primer lugar, se muestra en la tabla 6.5 en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de febrero-marzo.

Tabla 6.5.- Tiempo de medida frente a muros y en la época de febrero-marzo

Posición	Horas de medida
Horizontal muro metálico	31 h 38 min
Vertical frente al muro metálico	31 h 38 min
Horizontal muro hormigón	31 h 38 min
Vertical frente al muro hormigón	31 h 38 min
Horizontal sin muro	31 h 38 min
Vertical sin muro	31 h 38 min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

Se puede calcular para cada fototipo de piel el tiempo para el cual le podría aparecer un eritema en la piel a la persona. Los resultados aparecen en la tabla 6.6.

Tabla 6.6.- Tiempo hasta el eritema para las posiciones horizontal frente a muro metálico, vertical frente a muro metálico, horizontal frente a muro de hormigón, vertical frente a muro de hormigón, horizontal sin muro y vertical sin muro para la época de febrero-marzo

Posición del dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
Horizontal muro metálico	1h	1h 16min	1h 46min	2h 16min	2h 47min	3h 18min
Vertical frente al muro metálico	1h 10min	1h 28min	2h 4min	2h 39min	3h 15min	3h 50min
Horizontal muro hormigón	52min	1h 6min	1h 32min	1h 58min	2h 25min	2h 51min
Vertical frente al muro hormigón	7h 13min	9h 1min	12h 37min	16h 13min	19h 50min	23h 27min
Horizontal sin muro	39min	48min	1h 8min	1h 27min	1h 47min	2h 6min
Vertical sin muro	5h 25min	6h 47min	9h 30min	12h 13min	14h 56min	17h 39min

A la vista de los resultados mostrados en la tabla 6.6, se puede ver como para esta época del año, la posición en que más rápido se llegaría a producir un eritema para una persona de piel Tipo I (por ejemplo) sería en posición horizontal y sin muro

enfrente. Por el contrario, la posición en que más protegido estaría de la radiación y por tanto que más tardaría en producirse el eritema, sería en posición vertical y frente a muro de hormigón, debido al efecto bloqueador de la radiación difusa que se ha comentado anteriormente.

6.1.3.- Medidas de irradiancia diaria

Con la metodología empleada en la que se utilizan los dosímetros como media de la radiación incidente, no es posible evaluar los cambios en la radiación eritemática recibida a lo largo de un día.

Es por ello que, como complemento a las medidas de dosis efectuadas por los dosímetros, se han efectuado medidas puntuales empleando los radiómetros y registrando por tanto valores de irradiancia para un día medio.

Las medidas se efectuaron en los días que aparecen en la tabla 6.7.

Tabla 6.7.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetro frente a muros en la época de febrero-marzo-abril.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
abril	14	9:33	14:44	21,01	33,93	3,35	752,19		43,88	67,53	1
	22	9:36	14:44	22,03	29,19	2,13	786,24	352	41,46	70,19	1

Se han promediado los valores obtenidos de irradiancia en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ para cada uno de los días y se han representado los valores para observar su evolución a lo largo de un día. Junto a los valores de irradiancia UVER se han representado también tanto el ángulo cenital como el ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre una superficie vertical (ver apdo. 4.1.2).

El motivo de que aparezcan discontinuidades en las gráficas correspondientes al muro metálico y al muro de hormigón, se debe a que, como sólo se disponía de dos radiómetros para efectuar las medidas, estos se iban desplazando cada hora para colocarse alternativamente frente al muro metálico y al muro de hormigón. Para efectuar las medidas sin muro enfrente, se tomó un día de las mismas características que aquél en que se midió frente a los muros y se dejaron los dos radiómetros permanentemente colocados sin muro enfrente. Así el día 14 de abril se midió sobre los muros y el día 22 de abril se midió sin muros enfrente.

En la posición horizontal se obtienen los resultados que muestra la figura 6.2.

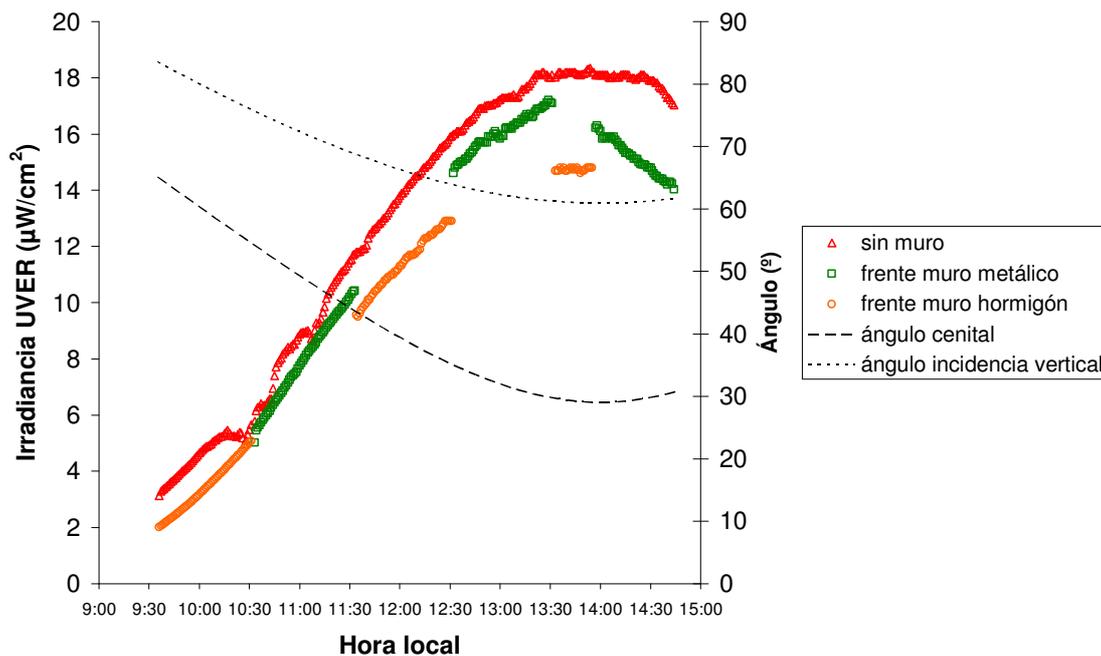


Figura 6.2.- Irradiancia diaria media sobre plano horizontal sin muro, frente a muro metálico y frente a muro de hormigón para un día del mes de abril

En la figura 6.3 se muestran los resultados para el caso de plano vertical.

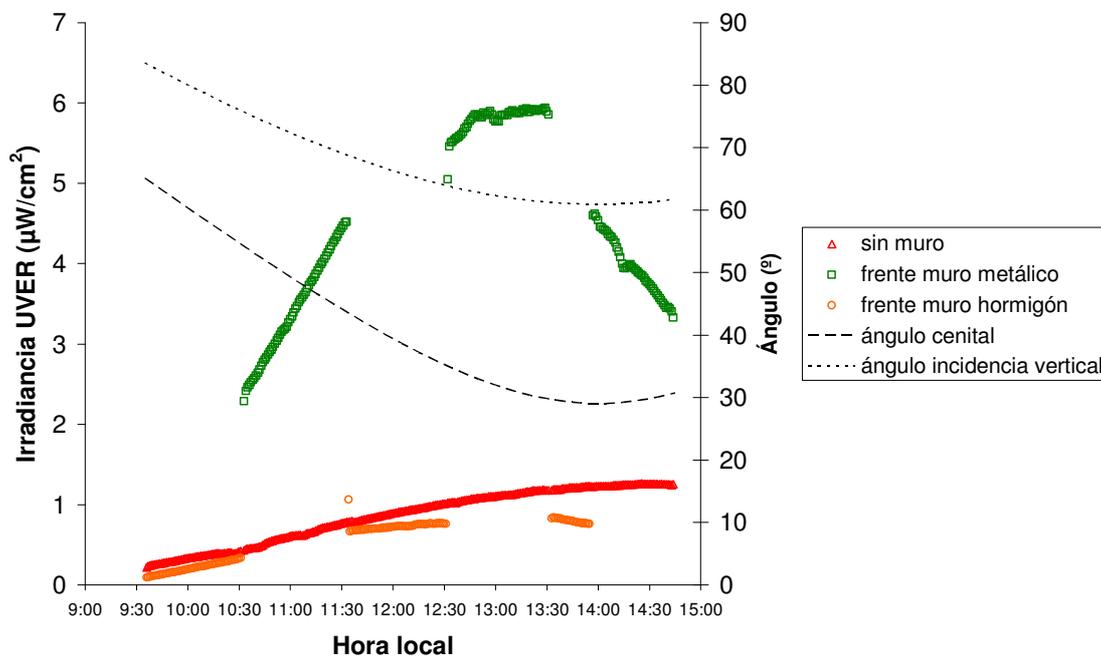


Figura 6.3.- Irradiancia diaria media sobre plano vertical sin muro, frente a muro metálico y frente a muro de hormigón para un día del mes de abril

Estos resultados confirman lo que se concluyó al analizar los datos de dosis recibida. Para el caso de la irradiancia diaria media, se puede observar como para la **posición horizontal**, los valores que se obtienen son muy similares tanto si hay muro metálico enfrente como si hay muro de hormigón. Eso sí, se observa como en ambos casos, el efecto que producen es el bloqueo de una parte de la irradiancia que llegaría en el caso de que no hubiera muro enfrente.

Si observamos en la figura 6.2 los valores de irradiancia media a las 13:35h locales, se observa que en la posición sin muro se recoge un valor de $18,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, en la posición frente a muro metálico $17,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y en la posición frente a muro de hormigón $14,7 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Es decir, que tanto frente a muro metálico como frente a muro de hormigón, se produce una reducción de la irradiancia recibida en comparación con el caso en que no haya muro enfrente. En concreto para esta hora del día, el muro metálico reduce un **6,04%** la irradiancia que llega en el caso de que no haya muro y el muro de hormigón la reduce un **19,23%**.

Por tanto, se puede concluir que ambos muros y para la posición horizontal, reducen la irradiancia incidente en comparación con la que llegaría si no hubiera muro enfrente; el muro de hormigón reduce una mayor proporción de irradiancia que el muro metálico, debido a que en este último caso, la superficie metálica también refleja y por tanto compensa el efecto de bloqueo del muro metálico.

Para la **posición vertical**, se puede observar más claramente el efecto reflectante del muro metálico en comparación con el muro de hormigón. Se observa en la figura 6.3 como la irradiancia recibida en posición vertical enfrente del muro metálico supera con creces la que se recibe tanto frente a muro de hormigón como sin muro enfrente. Además, se observa como el efecto reflectante va aumentando conforme disminuye el ángulo cenital solar, es decir conforme nos acercamos al mediodía. Por tanto, se puede concluir que conforme el porcentaje de radiación difusa es menor, es decir conforme el ángulo cenital disminuye, el efecto reflectante del muro metálico aumenta también.

Sin embargo en el caso del muro de hormigón, se puede observar como también en esta posición vertical se reduce parte de la irradiancia que llegaría en el caso en que no hubiera muro enfrente.

Se ha representado en la figura 6.4 y 6.5 los cocientes de exposición UVER de ambos tipos de muros respecto a la posición sin muro enfrente.

Como se ha comentado anteriormente, para la **posición horizontal**, no existe una influencia grande de la presencia del muro vertical, ya sea de metal o de hormigón. Este punto se puede deducir del valor muy cercano a la unidad que toma el cociente de UVER frente a muro respecto a la posición sin muro tanto para el muro metálico como para el muro de hormigón. Eso sí, para ambos casos se produce un bloqueo de la radiación debido a la cantidad de cielo que obstruyen por su presencia física enfrente del dosímetro. Ello se deduce del valor que es siempre inferior a la unidad para ambos tipos de muro.

En cuanto a la variación a lo largo del día, para el muro metálico se observa a las **10:30 h** local, que es cuando mayor proporción de radiación difusa hay en comparación con la directa y cuanto más grande es el ángulo cenital solar, que el cociente tiene un

valor de **0,87**, aumentando ese valor a **0,94** a mediodía (**13:30 h** locales) que es cuando la proporción de difusa es menor y el ángulo cenital solar es menor también. Es por ello, que se puede deducir que conforme la proporción de difusa disminuye y aumenta el ángulo cenital, el efecto reflectante del muro metálico va compensando el efecto bloqueador de la radiación.

Para el muro de hormigón, se observa que el bloqueo de la radiación no llega a verse compensado nunca por el efecto reflectante, dadas las características de la superficie del hormigón. Los cocientes de exposición varían desde **0,89** a las 10:30h locales hasta **0,81** a las 13:30h locales. Es por ello, que el efecto global que produce este tipo de muro sobre la persona expuesta a él y para una zona del cuerpo en orientación horizontal es de bloqueo de la radiación.

Por tanto, a primeras horas de la mañana, la presencia de ambos muros no tiene apenas influencia en la radiación recibida por una persona situada frente a ellos, salvo la de que perciben algo menos de la que percibirían sin muro enfrente. Concretamente este efecto bloqueador es un **2,25 %** mayor en el caso del muro metálico. Sin embargo, a mediodía, en el caso del muro metálico, se produce una compensación del efecto bloqueador mediante la reflexión de parte de la radiación que recibe, de forma que en este momento del día el muro metálico es un **13,82%** más reflectante que el muro de hormigón o dicho de otro modo, el muro de hormigón es un **13,82%** más bloqueador de la radiación que el muro metálico.

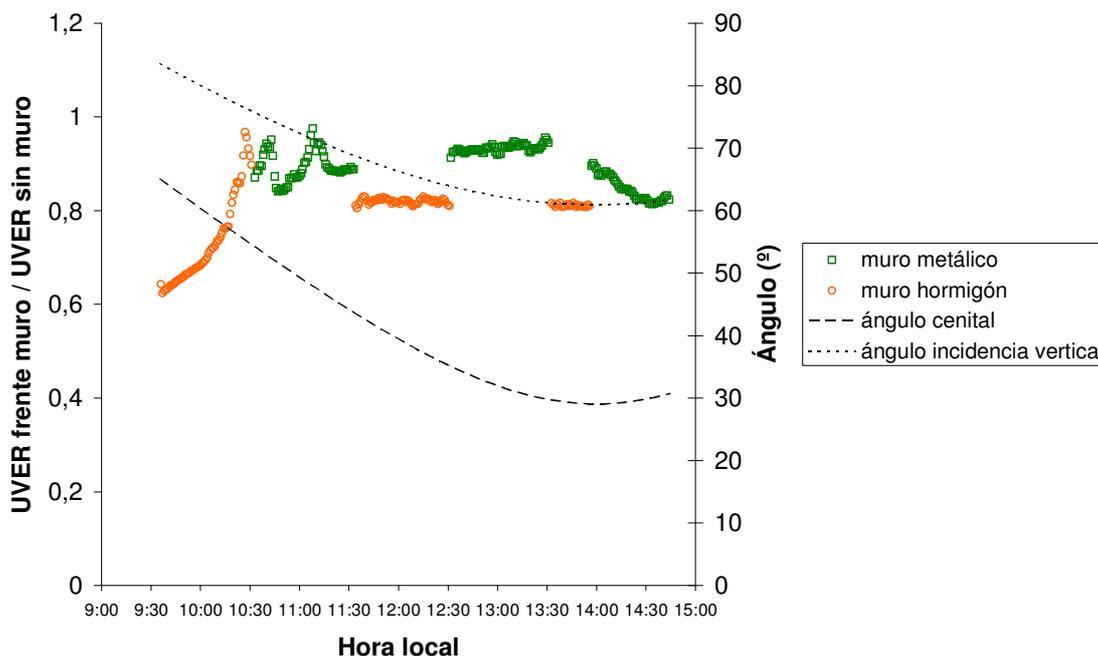


Figura 6.4.- Cociente de exposición UVER frente a muro respecto a sin muro tanto para el caso de muro de hormigón como para el muro metálico en posición horizontal para un día del mes de abril

Para el caso de **posición vertical**, como se ha comentado y se puede observar en la figura 6.5, el muro metálico provoca un aumento muy considerable de la radiación UVER recibida por una persona colocada frente a él respecto a la posición en que no hay ningún muro enfrente. El efecto de reflexión se hace patente y a las 10:30h locales

el valor del cociente de radiación UVER recibida frente al muro respecto a la recibida sin muro enfrente es de **5,32** y ese valor decrece hasta un **5,01** a las 13:30h locales.

En cambio, el muro de hormigón en esta posición sigue manteniendo su efecto de bloqueo, de forma que a las 10:30h locales su cociente de exposición tiene un valor de **0,78** y decrece hasta un **0,70** a las 13:30h locales.

Por tanto, el efecto reflectante del muro metálico es un **85,33 %** mayor que el correspondiente al muro de hormigón para primeras horas de la mañana y un **86,02%** mayor para horas cercanas al mediodía. Es decir, que ese efecto reflectante del muro metálico, que tanta influencia va a tener en la dosis recibida por una persona que se encuentre situada enfrente de él, aumenta conforme disminuye la proporción de difusa respecto a la radiación directa, es decir cuanto el ángulo cenital solar es menor.

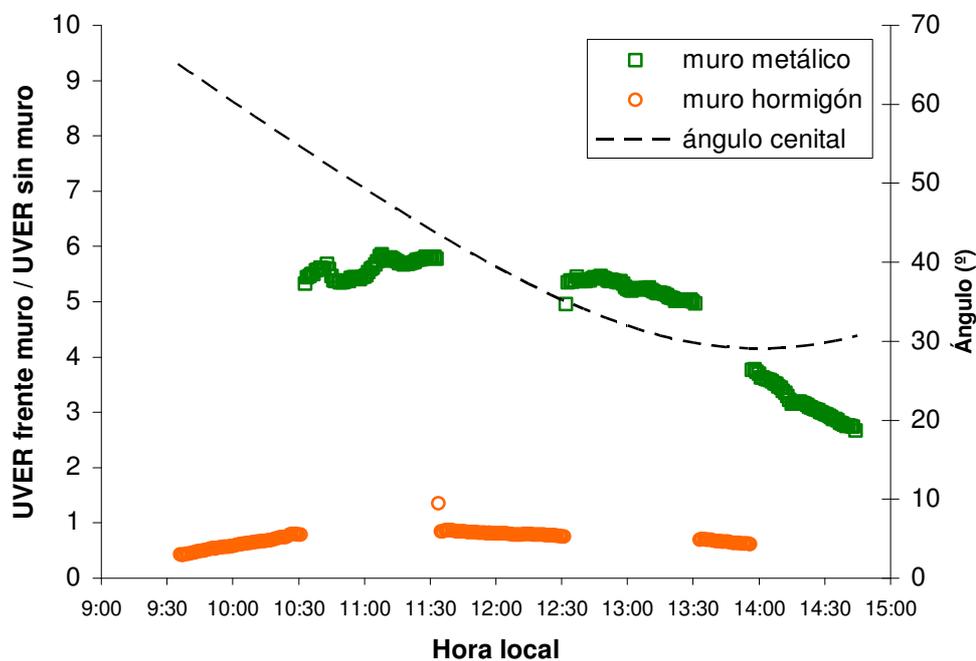


Figura 6.5.- Cociente de exposición UVER frente a muro respecto a sin muro tanto para el caso de muro de hormigón como para el muro metálico en posición vertical para un día del mes de abril

6.2.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS MUROS VERTICALES SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE MAYO-JUNIO

6.2.1.- Dosis de radiación UVER recibida

En esta época del año, las condiciones meteorológicas favorables posibilitaron efectuar las medidas durante más días. Por este motivo y con el objetivo de no sumar en esta época un número de días que excediera demasiado en comparación con el resto de épocas del año, se decidió efectuar la campaña de medidas en solo dos meses: mayo y junio.

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, han sido los que se muestran en la tabla 6.8.

Tabla 6.8.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para el caso de muros durante la época de mayo-junio.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
mayo	4	9:50	15:30	21,77	35,08	2,66	825,74	351	38,51	73,79	1
	6	9:45	15:35	25,41	32,12	2,78	826,48	344	38,06	74,33	1
	15	9:45	14:45	20,96	29,07	3,43	864,85	359	36,26	76,55	1
	18	10:05	15:50	20,56	58,20	4,60	851,39		35,74	77,20	2
junio	15	10:10	15:30	28,03	46,77	3,04	765,34		32,99	80,74	3
	22	10:25	15:30	25,45	60,38	3,50	725,09		32,90	80,87	3

Las variables de la tabla 6.8 se han explicado en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta segunda campaña de medidas del año fueron en total **18**, midiéndose en las siguientes posiciones dadas por la tabla 6.9.

Tabla 6.9.- Días de medida para cada posición en la época de mayo y junio para el caso de muros

Posición	Días de medida
Frente muro metálico en horizontal	4/5, 6/5, 15/5, 18/5, 15/6, 22/6
Frente muro metálico en vertical	4/5, 6/5, 15/5, 18/5, 15/6, 22/6
Frente a muro hormigón en horizontal	4/5, 6/5, 15/5, 18/5, 15/6, 22/6
Frente a muro hormigón en vertical	4/5, 6/5, 15/5, 18/5, 15/6, 22/6
Sin muro horizontal	4/5, 6/5, 15/5, 18/5, 15/6, 22/6
Sin muro vertical	4/5, 6/5, 15/5, 18/5, 15/6, 22/6

En primer lugar, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto a pleno Sol como frente a muro metálico y frente a muro de hormigón y en posición horizontal y posición vertical.

Para obtener los valores de la tabla 6.10, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en tomar los dosímetros empleados en cada una de las seis posiciones objeto de estudio y se han sumado los registros de irradiación UVER de cada uno de ellos al final de la campaña de medidas. Como se han medido en los mismos días en las seis posiciones, las sumas de valores de UVER de los dosímetros son comparables.

Tabla 6.10.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, frente e muro metálico y frente a muro de hormigón, para mayo-junio.

Posición del dosímetro	UVER (J/m ²)
Horizontal muro metálico	16368
Vertical frente al muro metálico	4571
Horizontal muro hormigón	15288
Vertical frente al muro hormigón	1764
Horizontal sin muro	15769
Vertical sin muro	2715

En la figura 6.6 se representan dichos valores para cada tipo de muro y para las dos posiciones en que se efectuó el estudio.

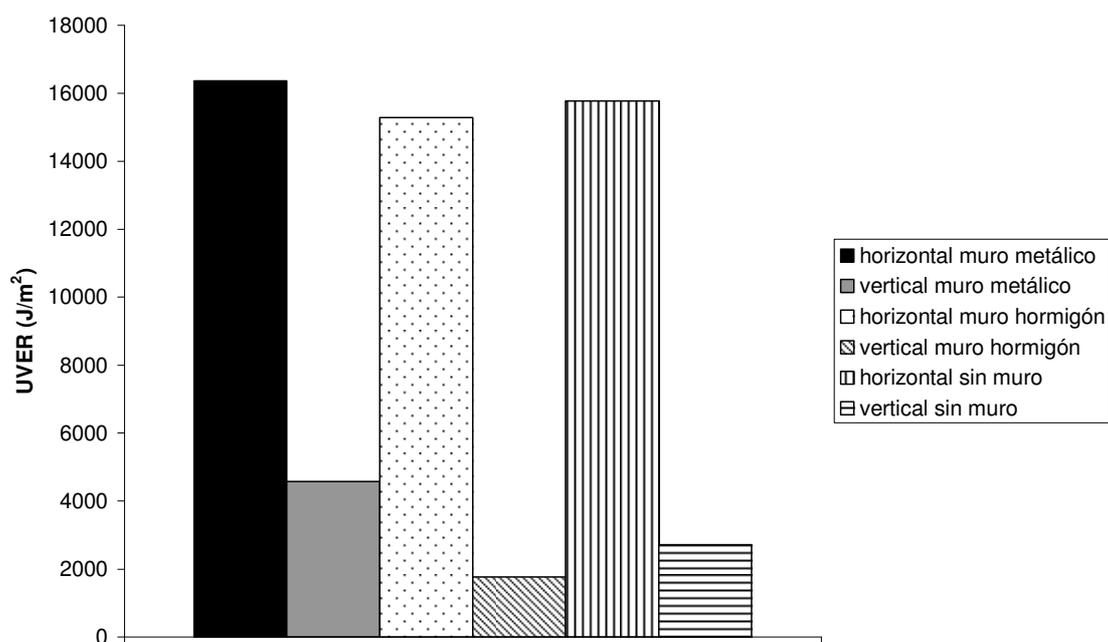


Figura 6.6.- Resumen de valores de UVER a pleno sol, frente a muro metálico y frente a muro de hormigón, para mayo-junio.

Se puede observar en la figura 6.6 una diferencia en la dosis recibida en función de la posición del dosímetro, de tal forma que los dosímetros colocados en posición horizontal, reciben más cantidad de radiación que los dosímetros colocados en posición vertical y de espaldas al Sol, como por otra parte es lógico y como también se observó que sucedía en la época de febrero-marzo-abril. Sin embargo, dependiendo del tipo de muro frente al que se encuentran situados, se observa una diferencia en cuanto a la dosis

recibida. Así, para la ubicación sin muro delante, la diferencia entre la dosis recibida en posición horizontal y la recibida en posición vertical es de un **82,78%**.

En la posición frente al muro de hormigón, se observa que esta diferencia sigue siendo importante y se sitúa en un valor de un **88,46%**; sin embargo, comparativamente, tanto en posición horizontal como en posición vertical se recibe menos radiación frente a muro de hormigón que sin muro enfrente, lo cual puede ser debido al efecto de bloqueo del muro sobre la radiación difusa que llega a los dosímetros.

Finalmente, para la posición frente a muro metálico, se puede observar como esta diferencia se reduce algunos puntos, descendiendo hasta un valor de un **72,07%** de diferencia entre la dosis recibida en la posición horizontal y la recibida en la posición vertical. Ello se debe a que el muro metálico, pese a que también bloquea parte de la radiación difusa, sin embargo compensa este efecto la radiación que el muro metálico es capaz de reflejar a través de sus superficie, de forma que incide de nuevo en el dosímetro vertical.

Los efectos de bloqueo y de reflexión que provocan ambos tipos de muros se pueden estudiar comparando las exposiciones recibidas en posición vertical y horizontal en los distintos casos. Así se puede resaltar el hecho de que para el **muro metálico** existe una mayor cantidad de dosis recibida tanto en la posición horizontal como en la posición vertical en comparación con el muro de hormigón y también con el caso en que no hay muro alguno enfrente.

Sin embargo, en lugar de presentar un valor exageradamente elevado de la dosis recibida para la posición vertical en el caso del muro metálico en comparación con los otros casos, esta diferencia se encuentra más repartida entre la posición horizontal y la posición vertical. Es decir, el efecto de reflexión del muro se encuentra repartido entre la posición horizontal y la posición vertical.

En el caso del **muro de hormigón**, se puede deducir del análisis comparativo de los valores de dosis recibida en posición horizontal y vertical, que el efecto predominante que ejerce sobre un hipotético observador situado frente a él, es el de bloqueo de parte de la radiación difusa que llega. Su presencia frente al dosímetro resta visibilidad de parte de la bóveda celeste y ello se ve reflejado en la menor dosis recibida frente al muro en comparación con la posición sin muro enfrente, tanto para posición horizontal como para la posición vertical.

Todas estas conclusiones se pueden cuantificar y clarificar con el estudio de los siguientes cocientes de exposición:

- UVER frente a muro metálico / UVER sin muro enfrente
- UVER frente a muro metálico / UVER frente a muro hormigón
- UVER frente a muro hormigón / UVER sin muro enfrente

Estos cocientes se han analizado para cada una de las posiciones, horizontal y vertical, de forma que se obtienen los valores que aparecen en la tabla 6.11.

Tabla 6.11.- Cocientes de exposición en las posiciones frente a muro metálico comparado con sin muro, frente a muro metálico comparado con frente a muro de hormigón y frente a muro de hormigón comparado con sin muro y para las orientaciones horizontal y vertical en cada caso para la época de mayo-junio.

Posición dosímetro	Muro metálico / sin muro	Muro metálico / muro hormigón	Muro hormigón / sin muro
Horizontal	1,04	1,07	0,97
Vertical	1,68	2,59	0,65

Si se comparan los valores de los cocientes de exposición en posición horizontal, se puede ver reflejado el efecto que se mencionaba anteriormente. En el caso del muro de hormigón, se observa que se produce un bloqueo de la radiación incidente, ya que el valor de su cociente de exposición, en comparación con la posición sin muro enfrente, no llega a la unidad. Concretamente, el muro de hormigón en esta posición y para esta época del año está bloqueando un **3%** de la radiación que recibiría si no hubiera ningún muro enfrente.

Sin embargo, para el muro metálico se observa que está recibiendo un **4%** más de radiación que en el caso en que no hubiera ningún muro enfrente y un **7%** más que si hubiera en su lugar un muro de hormigón. Ello refleja el concepto señalado anteriormente de que el efecto de reflexión del muro metálico está compensando la radiación que también bloquea el propio muro debido a su presencia física y obstrucción consiguiente de la visibilidad de cielo.

Para la posición vertical, ya se observan claramente dos comportamientos más diferenciados de los dos tipos de muro. Para esta orientación en particular, se observa que el muro de hormigón sigue teniendo un efecto de bloqueo más predominante que de reflexión, concretamente sigue bloqueando un **35%** de la radiación que recibiría si no hubiera ningún muro delante. En cambio en el caso del muro de chapa de acero, el efecto claro que predomina para este tipo de orientación es el de reflexión frente al de bloqueo. De hecho en la posición vertical frente a muro se recibe un **68%** más radiación que la que se recibiría si no hubiera muro delante, y un **259%** más de la que se recibiría si hubiera en su lugar un muro de hormigón.

6.2.2.- Tiempo hasta el eritema

En primer lugar se muestra en la tabla 6.12 en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de mayo-junio.

Tabla 6.12.- Tiempo de medida frente a muros y en la época de mayo-junio.

Posición	Horas de medida
Horizontal muro metálico	32 h 39 min
Vertical frente al muro metálico	32 h 39 min
Horizontal muro hormigón	32 h 39 min
Vertical frente al muro hormigón	32 h 39 min
Horizontal sin muro	32 h 39 min
Vertical sin muro	32 h 39 min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

Siguiendo el procedimiento apuntado en el ejemplo anterior, podemos calcular para cada fototipo de piel el tiempo para el cual le podría empezar a aparecer un eritema en la piel a la persona. Los resultados aparecen en la tabla 6.13.

Tabla 6.13.- Tiempo hasta el eritema para las posiciones horizontal frente a muro metálico, vertical frente a muro metálico, horizontal frente a muro de hormigón, vertical frente a muro de hormigón, horizontal sin muro y vertical sin muro para la época de mayo-junio.

	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
Horizontal muro metálico	24 min	30min	42min	54min	1h 6min	1h 18min
Vertical frente al muro metálico	1h 25 min	1h 47min	2h 30min	3h 13min	3h 55min	4h 38min
Horizontal muro hormigón	25min	31min	45min	57min	1h 10min	1h 23min
Vertical frente al muro hormigón	3h 42min	4h 37min	6h 28min	8h 19min	10h 10min	12h 1min
Horizontal sin muro	24min	31min	43min	55min	1h 8min	1h 21min
Vertical sin muro	2h 24min	3h 36min	4h 12min	5h 24min	6h 37min	7h 49min

A la vista de los resultados mostrados en la tabla 6.13, se puede ver como para esta época del año, la posición en que más rápido se llegaría a producir un eritema para una persona, independientemente del tipo de piel, sería en posición horizontal y sin muro enfrente y con casi el mismo tiempo, en la posición horizontal y con el muro metálico enfrente. Por el contrario, la posición en que más protegido estaría de la radiación y por tanto que más tardaría en producirse el eritema, sería en posición vertical y frente a muro de hormigón, debido al efecto bloqueador de la radiación difusa que se ha comentado anteriormente.

6.3 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS MUROS VERTICALES SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE JULIO-SEPTIEMBRE

6.3.1.- Dosis de radiación UVER recibida

En la ubicación en que se realizó el estudio, es en esta época del año cuando mayor cantidad de días despejados hay de todo el año, con gran diferencia. Ello obligó a moderar el número de días de medida para que no existiera una descompensación muy grande con el resto de épocas del año.

Por otra parte, hay que resaltar el hecho de que no se pudieron obtener medidas del mes de agosto, debido a que en este período el Instituto de Tecnología Eléctrica se encontraba cerrado por período vacacional.

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, han sido los que se muestran en la tabla 6.14. Se ha incluido el día 1 de octubre en esta campaña de medidas debido a que los dosímetros con que se midió durante ese día, fueron enviados al laboratorio de VioSpor en Alemania conjuntamente con los dosímetros utilizados en julio y septiembre. Las diferencias de las condiciones climáticas entre el 1 de octubre y el resto días de esta campaña no son apreciables como se muestra en la tabla 6.14, por lo que los resultados tienen la misma validez.

Tabla 6.14.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para el caso de muros en la época de julio-septiembre.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
julio	22	10:10	14:45	28,90	60,17	1,94	693,54	304	35,19	77,89	2
	23	10:10	14:55	33,41	24,49	8,13	789,93	298	35,34	77,70	1
	28	10:10	14:45	26,47	61,69	3,45	722,84	301	36,17	76,66	2
septiembre	11	10:00	14:50	25,75	47,21	2,55	597,39	304	48,51	62,36	2
	21	9:30	15:20	22,44	43,58	2,26	621,97	334	51,55	59,04	1
	22	10:30	15:00	23,91	47,15	2,90	477,21	317	51,90	58,68	3
	24	9:30	15:40	23,86	51,91	1,88	590,26	307	52,58	57,94	1
	25	10:30	15:00	25,00	44,12	2,78	589,32	304	52,92	57,57	1
	1/10	9:30	16:20	23,67	57,39	2,13	524,84	302	54,98	55,39	2

Las variables de la tabla 6.14 se han explicado en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta segunda campaña de medidas del año fueron en total **26**, midiéndose en las siguientes posiciones dadas por la tabla 6.15.

Tabla 6.15.- Días de medida para cada posición en la época de julio-septiembre.

Posición	Días de medida
Frente muro metálico en horizontal	22/7, 23/7, 28/7, 11/9, 21/9, 22/9 24/9, 25/9, 1/10
Frente muro metálico en vertical	22/7, 23/7, 28/7, 11/9, 21/9, 22/9 24/9, 25/9, 1/10
Frente a muro hormigón en horizontal	22/7, 23/7, 28/7, 11/9, 21/9, 22/9 24/9, 25/9, 1/10
Frente a muro hormigón en vertical	22/7, 23/7, 28/7, 11/9, 21/9, 22/9 24/9, 25/9, 1/10
Sin muro horizontal	22/7, 23/7, 28/7, 11/9, 21/9, 22/9 24/9, 25/9 1/10
Sin muro vertical	22/7, 23/7, 28/7, 11/9, 21/9, 22/9 24/9, 25/9 1/10

Para las posiciones sin muro enfrente se emplearon más dosímetros para prevenir una posible saturación de los mismos, ya que en esta época del año, la cantidad de radiación recibida es muy elevada y se consideró que esta posición podía ser crítica en cuanto a dosis recibida.

En primer lugar, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto a pleno sol como frente a muro metálico y frente a muro de hormigón y en posición horizontal y posición vertical.

Para obtener los valores de la tabla 6.16, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en tomar los dosímetros empleados en cada una de las seis posiciones objeto de estudio y se han sumado los registros de irradiación UVER de cada uno de ellos al final de la campaña de medidas. Como se han medido en los mismos días en las seis posiciones, las sumas de valores de UVER de los dosímetros son comparables.

Tabla 6.16.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, frente a muro metálico y frente a muro de hormigón, para julio-septiembre.

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
Horizontal muro metálico	15723
Vertical frente al muro metálico	7718
Horizontal muro hormigón	14515
Vertical frente al muro hormigón	2419
Horizontal sin muro	16880
Vertical sin muro	5358

En la figura 6.7 se representan dichos valores para cada tipo de muro y para las dos posiciones en que se efectuó el estudio.

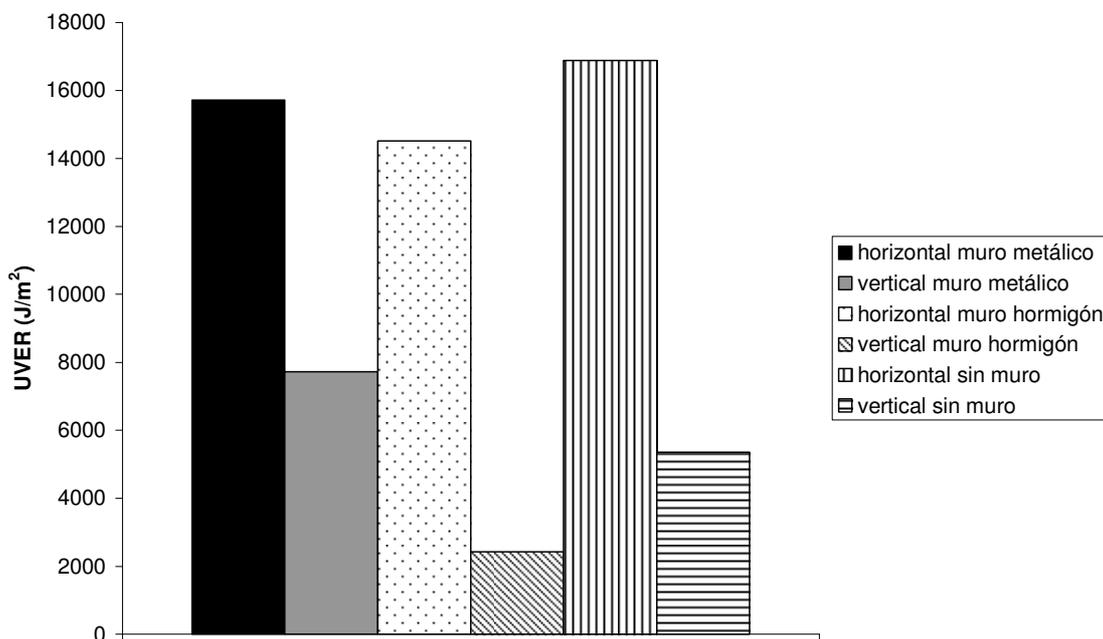


Figura 6.7.- Resumen de valores de UVER a pleno sol, frente e muro metálico y frente a muro de hormigón, para julio-septiembre.

Se puede observar en la figura 6.7 una diferencia en la dosis recibida en función de la posición del dosímetro, de tal forma que los dosímetros colocados en posición horizontal y orientación sureste, reciben más cantidad de radiación que los dosímetros colocados en posición vertical y de espaldas al sol, como por otra parte es lógico y como también se observó el resto de épocas. Sin embargo, dependiendo del tipo de muro frente al que se encuentren situados, se observa una diferencia en cuanto a la dosis recibida. De tal forma que, para la ubicación sin muro delante, la diferencia entre la dosis recibida en posición horizontal y la recibida en posición vertical es de un **68,26%**.

En la posición frente al muro de hormigón, se observa que esta diferencia sigue siendo importante y se sitúa en un valor de un **83,33%**; sin embargo comparativamente, tanto en posición horizontal como en posición vertical, se recibe menos radiación frente a muro de hormigón que sin muro enfrente, lo cual puede ser debido al efecto de bloqueo del muro sobre la radiación difusa que llega a los dosímetros.

Finalmente, para la posición frente a muro metálico, se puede observar como esta diferencia se reduce bastante, descendiendo hasta un valor de un **50,91%** de diferencia entre la dosis recibida en la posición horizontal y la recibida en la posición vertical. Ello se debe a que el muro metálico, pese a que también bloquea parte de la radiación difusa, sin embargo este efecto se compensa por la radiación que el muro metálico es capaz de reflejar a través de su superficie, de forma que incide de nuevo en el dosímetro vertical.

El valor elevado que se puede apreciar para la posición vertical en el caso de la posición sin muro enfrente, se debe al hecho de que en esta época del año, el ángulo cenital solar es pequeño (concretamente alcanza un valor promedio entre los días de medida de 46,57°), es decir que el Sol incide más perpendicularmente sobre la superficie y por tanto hay una mayor proporción de radiación directa que incide, no solo en la posición horizontal, sino también en parte sobre la posición vertical.

Los efectos de bloqueo y de reflexión que provocan ambos tipos de muros, se pueden estudiar comparando las exposiciones recibidas en posición vertical y horizontal en los distintos casos. Así, se puede resaltar el hecho de que para el muro vertical existe una mayor dosis recibida tanto en la posición horizontal como en la posición vertical en comparación con el muro de hormigón. Ello se debe al efecto reflectante de este tipo de muro. Sin embargo, al comparar las dosis recibidas frente a muro metálico y sin muro enfrente se aprecia como el valor de la dosis recibida en posición horizontal es para el muro metálico menor incluso que el recibido en la misma posición pero sin muro enfrente. Esto deja entrever que existe para el muro metálico un efecto bloqueador además del ya mencionado efecto reflectante.

De hecho, para un muro claramente no reflectante como es el de hormigón, se puede apreciar que para esta época del año en que el ángulo cenital solar es más pequeño, se está produciendo un acusado efecto de bloqueo, tanto en la dosis recibida en la posición horizontal, como en la dosis recibida en la posición vertical. Este mismo efecto de bloqueo pero en menor medida es el que probablemente se está sumando en el caso del muro metálico, al inherente efecto reflectante de ese tipo de superficie.

Todas estas conclusiones se pueden cuantificar y clarificar con el estudio de los siguientes cocientes de exposición:

- UVER frente a muro metálico / UVER sin muro enfrente
- UVER frente a muro metálico / UVER frente a muro hormigón
- UVER frente a muro hormigón / UVER sin muro enfrente

Estos cocientes se han analizado para cada una de las posiciones, horizontal y vertical, de forma que se obtienen los valores que aparecen en la tabla 6.17.

Tabla 6.17.- Cocientes de exposición en las posiciones frente a muro metálico comparado con sin muro, frente a muro metálico comparado con frente a muro de hormigón y frente a muro de hormigón comparado con sin muro y para las orientaciones horizontal y vertical en cada caso para la época de julio-septiembre.

Posición dosímetro	Muro metálico / sin muro	Muro metálico / muro hormigón	Muro hormigón / sin muro
Horizontal	0,93	1,08	0,86
Vertical	1,44	3,19	0,45

Si se comparan los valores de los cocientes de exposición en posición horizontal, se observa que, en el caso del muro de hormigón, se produce un bloqueo de la radiación incidente, ya que el valor de su cociente de exposición, en comparación con la posición

sin muro enfrente, no llega a la unidad. Concretamente, el muro de hormigón en esta posición está bloqueando un **14%** de la radiación que recibiría si no hubiera ningún muro enfrente. Y, por su parte, el muro de metal también está bloqueando un **7%** de la radiación que le llega. El efecto en este caso es menor que en el del muro de hormigón porque para el muro metálico hay que añadir el efecto de reflexión.

Para la posición vertical, ya se observan claramente dos comportamientos más diferenciados de los dos tipos de muro. Para esta orientación en particular, se observa que el muro de hormigón sigue teniendo un efecto de bloqueo más predominante que de reflexión, concretamente reduce un **55%** de la radiación que recibiría si no hubiera ningún muro frente a él.

En cambio, en el caso del muro de chapa de acero, el efecto claro que predomina para este tipo de orientación es el de reflexión frente al de bloqueo. De hecho, en la posición vertical frente a muro, se recibe un **44%** más radiación que la que se recibiría si no hubiera muro delante, y un **319%** más de la que se recibiría si hubiera en su lugar un muro de hormigón.

6.3.2.- Tiempo hasta el eritema

En primer lugar se muestra en la tabla 6.18 en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de julio-septiembre:

Tabla 6.18.- Tiempo de medida frente a muros y en la época de julio-septiembre.

Posición	Horas de medida
Horizontal muro metálico	46 h 34 min
Vertical frente al muro metálico	46 h 34 min
Horizontal muro hormigón	46 h 34 min
Vertical frente al muro hormigón	46 h 34 min
Horizontal sin muro	46 h 34 min
Vertical sin muro	46 h 34 min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

Se puede calcular para cada fototipo de piel el tiempo para el cual le podría empezar a aparecer un eritema en la piel a la persona. Los resultados se muestran en la tabla 6.19.

Tabla 6.19.- Tiempo hasta el eritema para las posiciones horizontal frente a muro metálico, vertical frente a muro metálico, horizontal frente a muro de hormigón, vertical frente a muro de hormigón, horizontal sin muro y vertical sin muro para la época de julio-septiembre.

Posición del dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
Horizontal muro metálico	36min	44min	1h2min	1h20min	1h38min	1h56min
Vertical frente al muro metálico	1h12min	1h31min	2h7min	2h43min	3h19min	3h55min
Horizontal muro hormigón	39min	48min	1h7min	1h27min	1h46min	2h5min
Vertical frente al muro hormigón	3h51min	4h49min	6h44min	8h40min	10h35min	12h31min
Horizontal sin muro	33min	41min	58min	1h15min	1h31min	1h48min
Vertical sin muro	1h44min	2h10min	3h3min	3h55min	4h47min	5h39min

Sorprende el hecho de que, para una persona de piel tipo I, el eritema en posición **horizontal sin muro** se pueda producir en 40 minutos aprox. y que de espaldas al Sol pero **frente a muro metálico**, le pueda aparecer sólo media hora más tarde.

6.4.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS MUROS VERTICALES SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE OCTUBRE-NOVIEMBRE-DICIEMBRE

6.4.1.- Dosis de radiación UVER recibida

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, han sido los que se muestran en la tabla 6.20.

Tabla 6.20 Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para el caso de muros en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _H (°)	Cond. cielo (okta)
octubre	19	10:15	16:10	17,80	63,86	1,77	485,08		60,89	49,24	2
	21	10:10	16:00	18,15	46,45	7,13	496,25		61,50	48,61	1
	22	10:15	15:15	18,29	55,66	8,18	513,11	299	61,74	48,24	1
	27	9:40	15:30	20,99	65,16	1,75	454,28	267	63,28	46,81	1
noviembre	4	10:15	15:30	19,95	46,62	7,44	425,25		65,45	44,63	2
	9	9:40	15:15	16,43	32,64	4,97	426,89	274	66,67	43,41	2
	10	9:40	15:15	14,59	34,93	3,27	346,70	274	66,90	43,18	3
	27	9:50	15:00	17,74	54,12	3,35	337,39	275	70,09	40,06	4
diciembre	10	9:40	15:10	13,90	56,74	1,88	316,50		71,20	38,47	1

Las variables de la tabla 6.20 se han definido en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta campaña de medidas fueron en total **18**, midiéndose en las siguientes posiciones dadas por la tabla 6.21.

Tabla 6.21.- Días de medida para cada posición en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Posición	Días de medida
Frente muro metálico en horizontal	19/10, 21/10, 22/10, 27/10, 4/11, 9/11 10/11, 27/11, 10/12
Frente muro metálico en vertical	19/10, 21/10, 22/10, 27/10, 4/11, 9/11 10/11, 27/11, 10/12
Frente a muro hormigón en horizontal	19/10, 21/10, 22/10, 27/10, 4/11, 9/11 10/11, 27/11, 10/12
Frente a muro hormigón en vertical	19/10, 21/10, 22/10, 27/10, 4/11, 9/11, 10/11, 27/11, 10/12
Sin muro horizontal	19/10, 21/10, 22/10, 27/10, 4/11, 9/11 10/11, 27/11, 10/12
Sin muro vertical	19/10, 21/10, 22/10, 27/10, 4/11, 9/11, 10/11, 27/11, 10/12

En primer lugar, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto a pleno sol como frente a muro metálico y frente a muro de hormigón tanto en posición horizontal como en posición vertical.

Para obtener los valores de la tabla 6.22, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en tomar los dosímetros empleados en cada una de las seis posiciones objeto de estudio y se han sumado los registros de irradiación UVER de cada uno de ellos al final de la campaña de medidas. Como se han medido en los mismos días en las seis posiciones, las sumas de valores de UVER de los dosímetros son comparables.

Tabla 6.22.- Valores absolutos de UVER a pleno sol, frente e muro metálico y frente a muro de hormigón, para octubre-noviembre-diciembre.

Posición del dosímetro	UVER (J/m ²)
Horizontal muro metálico	6371
Vertical frente al muro metálico	4336
Horizontal muro hormigón	8633
Vertical frente al muro hormigón	2547
Horizontal sin muro	8526
Vertical sin muro	3563

En la figura 6.8 se representan dichos valores para cada tipo de muro y para las dos posiciones (horizontal y vertical) en que se efectuó el estudio.

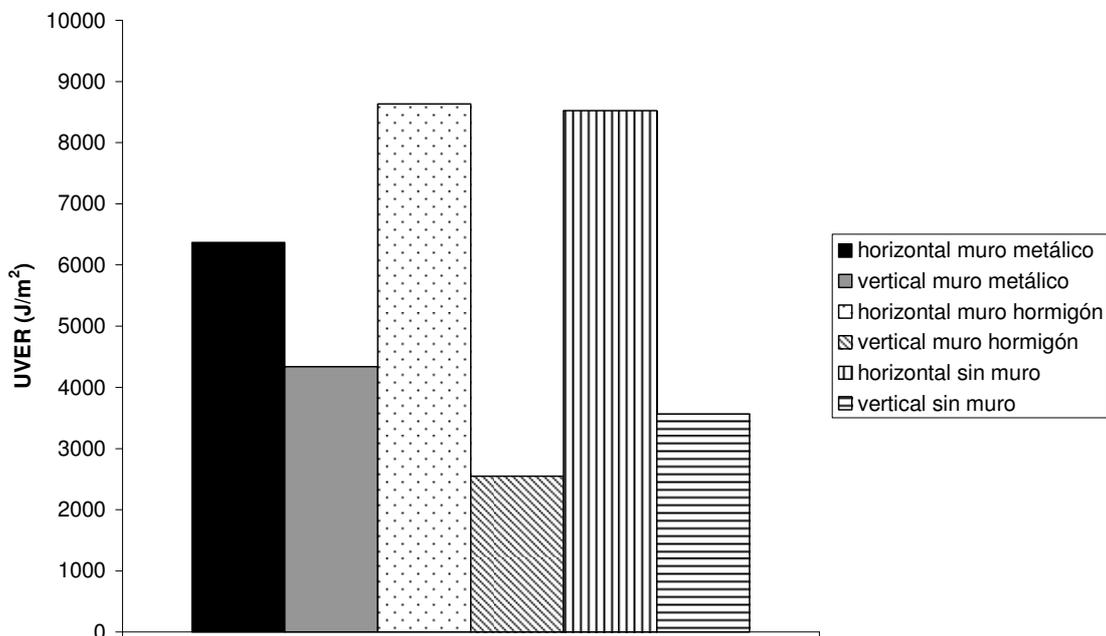


Figura 6.8.- Resumen de valores de UVER a pleno sol, frente e muro metálico y frente a muro de hormigón, para octubre-noviembre-diciembre.

Se puede observar en la figura 6.8, y al igual que sucedía en el resto de épocas del año, una diferencia en la dosis recibida en función de la posición del dosímetro, de tal forma que los dosímetros colocados en posición horizontal y orientación sureste, reciben más cantidad de radiación, en general, que los dosímetros colocados en posición vertical y de espaldas al Sol, como por otra parte es lógico.

En este caso, para la ubicación sin muro delante, la diferencia entre la dosis recibida en posición horizontal y la recibida en posición vertical es de un **58,21%**.

En la posición frente al muro de hormigón, se observa que esta diferencia también es importante, de un **70,49%**. La diferencia respecto a la situación sin muro es pequeña, y de hecho, la dosis recibida en posición horizontal tiene un valor casi idéntico en ambas situaciones, diferenciándose solo en el caso de la posición vertical. De ello se deduce que, para ángulos cenitales elevados, como los que se tienen en esta época del año (concretamente alcanzan un valor promedio para los días de media de 65,30°), la presencia del muro de hormigón tiene poca influencia en la dosis recibida por una persona situada frente a él.

Para la posición frente a muro metálico, se puede observar como esta diferencia se reduce considerablemente, descendiendo hasta un valor de un **31,94%** de diferencia entre la dosis recibida en la posición horizontal y la recibida en la posición vertical. Ello se debe a que el muro metálico, pese a que también disminuye parte de la radiación difusa que le llega debido al efecto de bloqueo del cielo visible, sin embargo este efecto se ve compensado e incluso superado por la radiación que el muro metálico es capaz de reflejar a través de sus superficie de forma que incide de nuevo en el dosímetro vertical.

El efecto del valor elevado de dosis recibida en posición vertical en esta época en que el ángulo cenital es elevado, así como el hecho de que en posición horizontal se reciba incluso menos dosis que para el caso de muro de hormigón, refuerza la hipótesis de que el muro metálico objeto de estudio tiene una reflexión de la radiación incidente que sigue unas direcciones preferentes, fenómeno que se asocia con la reflexión especular.

Todas estas conclusiones se pueden cuantificar y clarificar con el estudio de los siguientes cocientes de exposición:

- UVER frente a muro metálico / UVER sin muro enfrente
- UVER frente a muro metálico / UVER frente a muro hormigón
- UVER frente a muro hormigón / UVER sin muro enfrente

Estos cocientes se han analizado para cada una de las posiciones, horizontal y vertical, de forma que se obtienen los valores que aparecen en la tabla 6.23.

Tabla 6.23.- Cocientes de exposición en las posiciones frente a muro metálico comparado con sin muro, frente a muro metálico comparado con frente a muro de hormigón y frente a muro de hormigón comparado con sin muro y para las orientaciones horizontal y vertical en cada caso

Posición dosímetro	Muro metálico / sin muro	Muro metálico / muro hormigón	Muro hormigón / sin muro
Horizontal	0,75	0,74	1,01
Vertical	1,22	1,70	0,71

Como se aprecia en la tabla 6.23, los valores de los cocientes de exposición para la posición horizontal frente al muro metálico, muestran como el efecto predominante de éste sobre la persona expuesta, es de bloqueo de la radiación difusa más que de reflexión. En el caso del muro de metal se produce una reducción de un **25%** de la radiación que llegaría en esa posición si no hubiera muro delante.

Hay que reseñar el valor que toma la dosis en el caso del muro de hormigón, que es prácticamente del mismo orden e incluso algo superior a la que se recibe sin muro. Ello se deduce del valor de 1,01 del cociente de exposición. Esto puede ser debido a la geometría solar característica de esta época del año, en la que el ángulo cenital alcanza los valores promedios mayores de todo el año. Es por ello que, en esta situación concreta, el efecto del muro sobre la posición horizontal es mucho menor que en otras épocas del año.

Para las posiciones verticales, se observa que el muro de hormigón sigue teniendo un efecto de bloqueo más predominante que de reflexión, concretamente sigue bloqueando un **29%** de la radiación que recibiría si no hubiera ningún muro delante. En cambio, en el caso del muro de chapa de acero, el efecto claro que predomina para este tipo de orientación, es el de reflexión frente al de bloqueo. De hecho, en la posición vertical frente a muro, se recibe más radiación que la que se recibiría si no hubiera muro delante en un factor de **1,22**, y en un factor de un **1,70** si hubiera en su lugar un muro de hormigón.

6.4.2.- Tiempo hasta el eritema

En primer lugar se muestra en la tabla 6.24 en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de octubre-noviembre-diciembre:

Tabla 6.24.- Tiempo de medida frente a muros y en la época de octubre-noviembre-diciembre

Posición	Horas de medida
Horizontal muro metálico	50 h 39 min
Vertical frente al muro metálico	50 h 39 min
Horizontal muro hormigón	50 h 39 min
Vertical frente al muro hormigón	50 h 39 min
Horizontal sin muro	50 h 39 min
Vertical sin muro	50 h 39 min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

Se puede calcular para cada fototipo de piel el tiempo para el cual le podría empezar a aparecer un eritema en la piel a la persona. Los resultados aparecen en la tabla 6.25.

Tabla 6.25.- Tiempo hasta el eritema para las posiciones horizontal frente a muro metálico, vertical frente a muro metálico, horizontal frente a muro de hormigón, vertical frente a muro de hormigón, horizontal sin muro y vertical sin muro para la época de octubre-noviembre-diciembre.

	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
Horizontal muro metálico	1h35min	1h59min	2h47min	3h35min	4h22min	5h10min
Vertical frente al muro metálico	2h20min	2h55min	4h5min	5h15min	6h26min	7h36min
Horizontal muro hormigón	1h10min	1h28min	2h3min	2h38min	3h14min	3h49min
Vertical frente al muro hormigón	3h59min	4h58min	6h58min	8h57min	10h56min	12h56min
Horizontal sin muro	1h11min	1h29min	2h5min	2h40min	3h16min	3h52min
Vertical sin muro	2h51min	3h33min	4h59min	6h24min	7h49min	9h15min

Se puede observar, del estudio de esta tabla, situaciones como la de una persona de piel clara (tipo I) a la que podría aparecer antes un eritema en la posición de espaldas al Sol y frente a muro metálico que a una persona de piel tipo III en posición horizontal y frente a muro metálico.

6.4.3.- Medida del coeficiente de reflexión

Como complemento, se ha medido para un día concreto de esta época del año, la reflectividad del muro metálico como el cociente entre la irradiancia eritemática reflejada por éste en posición vertical y la irradiancia eritemática incidente sobre el mismo en posición vertical. La expresión 6.1 muestra como se calcula este coeficiente.

$$\varepsilon = \text{UVER reflejada} / \text{UVER incidente} \quad (6.1)$$

El día de medida fue el que se muestra en la tabla 6.26:

Tabla 6.26.- Día de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetro del coeficiente de reflexión para el caso del muro metálico.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
noviembre	16	9:35	13:45	23,75	34,71	2,47	376,50		68,20	41,91	1

El resultado de las medidas se muestra en la figura 6.9.

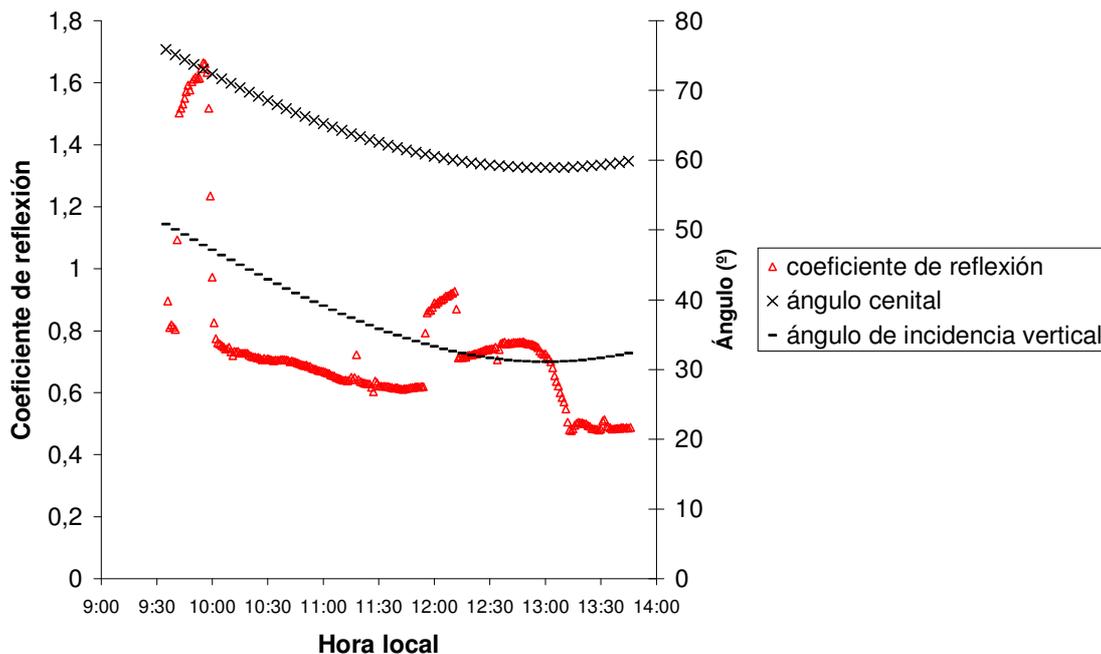


Figura 6.9.- Coeficiente de reflexión del muro metálico para el día 16 de noviembre

El valor medio del coeficiente de reflexión para las horas y el día en que tuvieron lugar las medidas fue de **0,75**, lo cual es un valor bastante alto.

Hay que resaltar que, a primeras horas de la mañana, cuando el ángulo cenital alcanza los valores mayores, hay momentos en que el coeficiente de reflexión de la chapa supera incluso el valor de la unidad; esto puede ser debido a que en la posición del dosímetro situado frente al muro está llegando por una parte radiación difusa del cielo y por otra radiación reflejada por el muro.

6.5.- COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS PARA TODO EL AÑO

6.5.1.- Dosis de radiación UVER recibida

En los apartados precedentes se ha analizado la radiación ultravioleta eritemática incidente en posiciones cercanas a la presencia de muros para distintas épocas del año separadamente.

Sin embargo, el cociente de exposición y la reflexión efectiva que puede tener un muro vertical, puede cambiar con la estación del año y con la hora del día, debido a los cambios en las proporciones relativas de radiación directa y difusa provocadas por el cambio del ángulo cenital y por tanto del ángulo de incidencia de la radiación sobre la superficie.

De la comparación de los valores obtenidos para las distintas épocas del año, se podrá concluir con mayor precisión qué tipo de reflexión se produce en cada tipo de muro y qué proporción de radiación es bloqueada por cada muro en comparación con la radiación que refleja. De esta forma, se podrá conocer con mayor claridad cual es el efecto que cada superficie tiene sobre la dosis de radiación total recibida por una persona que se encuentre en un ambiente de trabajo situado frente a un muro, ya sea metálico o de hormigón.

Se ha medido a lo largo de todo el año 2009, dividiendo las campañas de medida en las siguientes épocas:

- febrero-marzo-abril
- mayo-junio
- julio-septiembre
- octubre-noviembre-diciembre

Se han calculado los valores promedio entre los días de medida del ángulo de incidencia de los rayos sobre una superficie horizontal (θ_H) y sobre superficie vertical (θ_V), de forma que se puedan comparar dichos valores con los valores de dosis que se han obtenido para cada época del año. Los valores promedio de estos ángulos se muestran en la tabla 6.27.

Tabla 6.27.- Valores de θ_H , ángulo de incidencia sobre superficie horizontal promedio entre los días de medida y de θ_V , ángulo de incidencia sobre superficie vertical promedio entre los días de medida.

Época del año	θ_H (°)	θ_V (°)
febrero-marzo-abril	55,66	54,36
mayo-junio	35,74	77,13
julio-septiembre	46,57	67,64
octubre-noviembre-diciembre	65,30	44,37

6.5.1.1.- Cociente de exposición

El primer parámetro que se analiza en la tabla 6.28 es el cociente de exposición para cada época del año, para cada tipo de muro y en cada posición estudiada (horizontal y vertical).

El cociente de exposición se define según la expresión 6.2.

$$CE = UVER (\text{frente a muro}) / UVER (\text{sin muro}) \quad (6.2)$$

siendo UVER (frente a muro), la dosis de radiación UVER recibida frente al muro vertical en J/m² y UVER (sin muro), la dosis de radiación UVER recibida a pleno Sol y sin muro enfrente en J/m².

La tabla 6.28 muestra un resumen de los cocientes de exposición tanto del muro metálico como del muro de hormigón para las distintas épocas del año.

Tabla 6.28.- Cociente de exposición UVER (frente a muro) / UVER (sin muro) para todas las épocas del año

Posición dosímetro	Febrero-marzo-abril			Mayo-junio			Julio-septiembre			Octubre-noviembre-diciembre		
	MM/SM	MM/MH	MH/SM	MM/SM	MM/MH	MH/SM	MM/SM	MM/MH	MH/SM	MM/SM	MM/MH	MH/SM
Horizontal	0,64	0,87	0,74	1,04	1,07	0,97	0,93	1,08	0,86	0,75	0,74	1,01
Vertical	4,59	6,10	0,75	1,68	2,59	0,65	1,44	3,19	0,45	1,22	1,70	0,71

siendo:

MM = Dosis UVER recibida frente a muro metálico vertical

SM = Dosis UVER recibida sin muro enfrente

MH = Dosis UVER recibida frente a muro de hormigón

En las figuras 6.10 y 6.11 se ha representado el valor del cociente de exposición para cada época, para los dos tipos de muro, para las dos posiciones de estudio y también el valor medio del ángulo cenital solar y de incidencia sobre superficie vertical en los días en que tuvieron lugar las medidas en cada época del año.

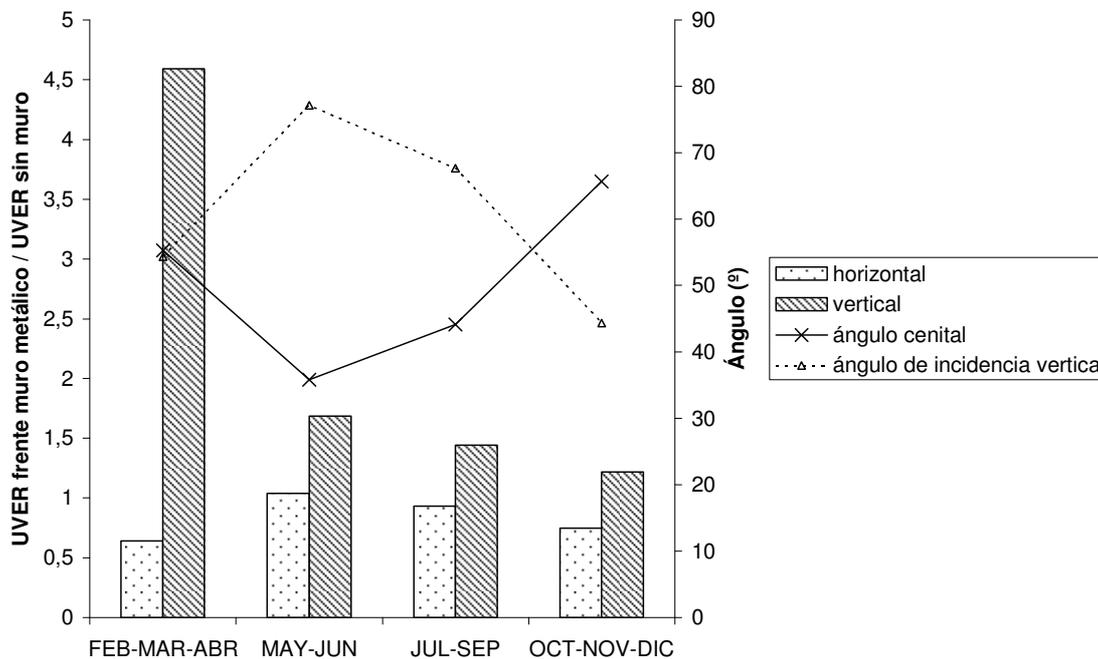


Figura 6.10.- Evolución del cociente de exposición UVER (frente muro metálico) / UVER (sin muro) para cada época del año.

A la hora de comparar los resultados para las diferentes épocas del año, se han estudiado las gráficas separadamente para cada tipo de muro, ya que presentan comportamientos que pueden resultar muy diferentes en determinadas condiciones.

Es por ello que, en la figura 6.10, se muestra la comparación del cociente de exposición exclusivamente para el caso del **muro de metal**.

En este caso del muro metálico, resulta especialmente dificultoso poder extraer una conclusión definitiva, debido a que, en su comportamiento frente a la radiación incidente, influyen varios factores como son: la orientación del muro vertical respecto al sol, la posición del sol en la esfera celeste, la distancia del receptor al muro vertical, la tipología de metal del muro, la orientación preferente de reflexión de los rayos al chocar con la superficie del muro y el porcentaje de radiación difusa bloqueada por la presencia física del muro vertical.

Como primera observación importante de los resultados obtenidos, se debe mencionar el hecho de que, para las posiciones verticales frente al muro metálico y en cualquier época del año, se recibe más radiación que en las posiciones análogas pero sin tener ningún muro enfrente. Ello se deduce del valor siempre superior a la unidad del cociente de exposición. Con este resultado se demuestra el exceso de exposición a que puede estar sometida una persona en esas posiciones por el hecho de tener enfrente un

muro metálico vertical. Este aumento en la dosis recibida puede alcanzar un valor, en función de otros parámetros como el ángulo de incidencia sobre la superficie, de un **459%** de la radiación que llegaría si no hubiera ningún muro delante. Eso ocurre en el periodo de febrero-marzo-abril.

En posición horizontal ese efecto no es tan acusado y de hecho solamente en la época de mayo-junio, cuando el ángulo cenital es más pequeño (ver tabla 6.27), es cuando se puede incrementar la dosis recibida enfrente del muro respecto a la posición sin muro enfrente y sólo en un **4%**.

En la tabla 6.28 y en la figura 6.10, se muestra, por tanto, la acción de todas las variables comentadas en los párrafos anteriores, de forma conjunta y simultánea para el muro de metal. Y ello nos ofrece el siguiente resultado: para ángulos cenitales pequeños, es decir, en los meses de mayo-junio y julio-septiembre, tanto para la posición horizontal como para la posición vertical, se obtienen los valores más altos del cociente de exposición. Esto se traduce en la siguiente combinación de efectos: por un lado, el efecto de reducción de la radiación por el muro debido al bloqueo de la radiación difusa que su presencia supone, se ve compensado por el efecto de reflexión de la radiación por parte de la superficie del muro vertical, que se incrementa en esta época del año. Por tanto, cuando el ángulo cenital solar es pequeño, esto es, cuando menor proporción hay de radiación difusa, mayor poder reflectante tiene el muro metálico; es decir, que el muro metálico vertical refleja con mayor efectividad la radiación directa que la radiación difusa.

En cambio, para ángulos cenitales más grandes, esto es, en los meses tanto de febrero-marzo-abril como de octubre-noviembre-diciembre, y tanto para posición horizontal como para la posición vertical, se obtienen los valores más bajos del cociente de exposición (a excepción del dato de febrero-marzo-abril que se comentará más adelante). La combinación de efectos que da explicación a este resultado es que el efecto de reducción de la radiación debida al bloqueo de la radiación difusa que produce la presencia del muro tiene más importancia que el efecto de reflexión de la superficie del muro que en cambio, es menor en estos meses.

Cuantificando las conclusiones anteriores, se puede decir que entre la época con ángulo cenital menor (meses de mayo-junio y julio-septiembre) y la época con mayor ángulo cenital (meses de febrero-marzo-abril y de octubre-noviembre-diciembre) se da una reducción de un **27,88%** en el porcentaje de radiación recibida frente al muro respecto a la posición en que no hay muro para la posición horizontal y de un **27,38%** para la posición vertical.

Se observa que se produce una reducción semejante en la posición horizontal y vertical frente al muro entre una época del año y otra.

Sin embargo, hay un resultado que escapa a esta hipotética tendencia. Se puede observar que en los meses de febrero-marzo-abril, el valor del cociente de exposición en posición vertical que, según la tendencia explicada anteriormente, debería tomar un valor comprendido entre 1,22 y 1,44, alcanza el valor de **4,59**. Es decir, que el efecto reflectante no solo no se reduce respecto a los valores observados en las épocas de ángulo cenital menor, sino que lo duplica.

La explicación a este fenómeno, puede estar en otro de los factores que se han mencionado y que podían influir sobre el receptor situado frente a un muro vertical: la tipología del metal y consecuentemente la reflexión que produce en los rayos que llegan a su superficie. Aparentemente existe una orientación preferente en la que, al incidir los rayos del sol sobre la superficie metálica del muro vertical, estos se reflejan de manera que llegan de forma más perpendicular sobre la superficie del dosímetro vertical situado enfrente del muro, y por tanto, éste recibe una mayor cantidad de radiación que en cualquier otra época y posición.

Este comportamiento de reflexión preferente de los rayos incidentes es propio de la reflexión de tipo especular, en la cual ésta se produce en el punto de contacto de la superficie con los rayos incidentes que se reflejan en direcciones específicas en función de ángulo de incidencia de la radiación. No quiere esto decir que la superficie metálica objeto de este estudio tenga en global un comportamiento de reflexión especular; de hecho las superficies metálicas suelen mostrar una combinación de reflexión difusa y especular. Lo que se argumenta es que existe un marcado comportamiento de reflexión especular en una determinada época del año, lo cual deja entrever que el efecto de reflexión especular predomina sobre el de reflexión difusa.

Para el caso de estudio y para el tipo concreto de superficie metálica analizada, se podría decir que, para el ángulo de incidencia sobre superficie vertical medio para la época de febrero-marzo-abril, que es de $54,36^\circ$ y un ángulo cenital solar de $55,66^\circ$, la reflexión del muro vertical es máxima sobre otra superficie vertical y colocada frente a él.

En la figura 6.11 se muestran los resultados de la tabla 6.28 para el caso del cociente de exposición **del muro de hormigón** exclusivamente.

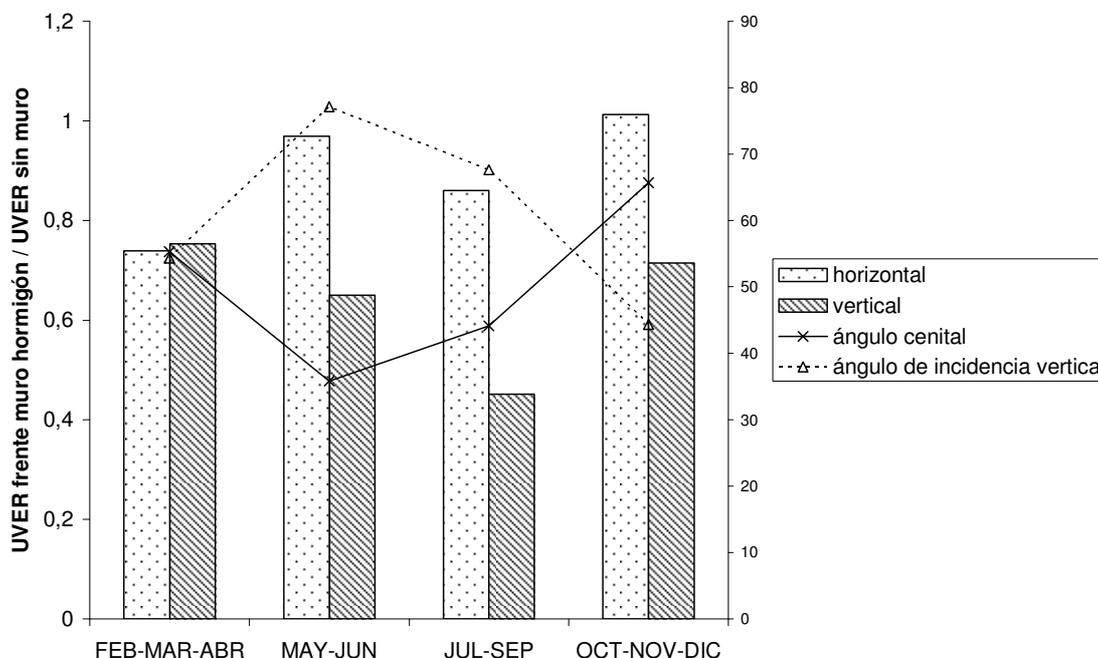


Figura 6.11.- Evolución del cociente de exposición UVER (frente muro de hormigón) / UVER (sin muro) para cada época del año

Como observación general de los resultados para el muro de hormigón, hay que resaltar el hecho de que, de los dos efectos mencionados de bloqueo y reflexión que un muro vertical es susceptible de producir sobre la radiación solar que incide sobre él, es el efecto de bloqueo de la radiación difusa, y por tanto de disminución de radiación recibida, el que más predomina en este tipo de muro.

Prueba de ello es el valor del cociente de exposición, que resulta para todas las épocas del año inferior a la unidad, tanto en posición horizontal como en posición vertical.

Si se comparan los valores del cociente de exposición para todas las épocas del año, se observa que para ángulos cenitales pequeños, es decir, en los meses de mayo-junio y julio-septiembre, para la posición horizontal frente al muro se obtienen los valores de cociente de exposición más elevados. Ello puede explicarse por la disminución en esta época del efecto de bloqueo del muro sobre la visibilidad de cielo, debido por un lado a la menor proporción de radiación difusa en esa época, y por otro a la poca influencia que tiene el muro para una orientación horizontal.

Esta tendencia para la posición horizontal también se apreciaba en el caso del muro metálico.

En posición vertical, se observa que para ángulos cenitales pequeños, el valor de ese cociente de exposición es menor que para las épocas de ángulo cenital más elevado. Este comportamiento es aparentemente contradictorio al que muestra el muro metálico en posición horizontal y vertical y el propio muro de hormigón en posición horizontal. Para explicarlo hemos de tener en cuenta que el muro de hormigón, a la vista de los valores de sus cocientes de exposición de la tabla 6.28, se comporta como si fuera un muro absolutamente no reflectante. Si se elimina el efecto reflectante pues, solo queda la acción bloqueadora de la radiación difusa que ofrece el muro.

Si se tiene en cuenta que en la posición vertical frente al muro, la radiación que llega al dosímetro es solamente difusa (pues está en la sombra, de espaldas al Sol), y tenemos en cuenta que en los meses de ángulo cenital pequeño, la cantidad de difusa es menor también, y que además de ello colocamos enfrente un muro vertical que no es reflectante y que por tanto su único efecto es el de bloquear parte de la visibilidad y por tanto de la radiación difusa que llega, se puede entender como en esas épocas, el valor del cociente de exposición es tan bajo.

La explicación de que en el caso del muro metálico los valores del cociente de exposición en esas épocas de ángulo cenital elevado sean mayores, está en que en aquél caso, se suma el efecto reflectante de ese tipo de superficie que además es más patente con la radiación directa que con la difusa.

En la figura 6.12 se puede apreciar el efecto de la presencia del muro metálico en comparación con la presencia del muro de hormigón para cada época del año.

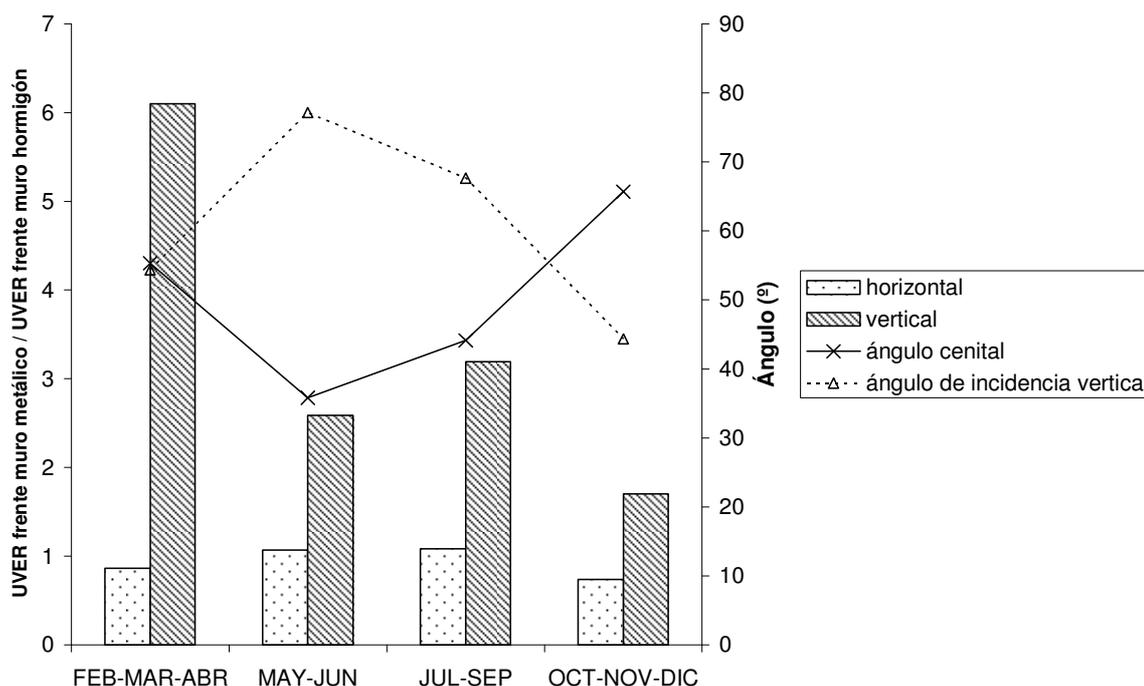


Figura 6.12.- Evolución del cociente de exposición UVER (frente muro metálico) / UVER (frente muro de hormigón) para cada época del año

Como se ha apuntado al hablar de cada uno de los muros por separado, y a la vista de los datos representados en la figura 6.12, para las épocas en que el valor del ángulo cenital es pequeño, como sucede en mayo-junio y julio-septiembre, es cuando más potencialmente peligrosa resulta la presencia del muro metálico respecto a la dosis de radiación recibida por una persona situada enfrente respecto a una que estuviera frente a un muro de hormigón.

En posición horizontal frente a muro metálico, se puede recibir un valor superior en un **8%** al valor de la dosis recibida frente al muro de hormigón en la época de julio-septiembre y en posición vertical frente a muro metálico, para esa misma época, se puede recibir un **319%** de su posición análoga frente a muro de hormigón. Estas diferencias son más acusadas en estas épocas de ángulo cenital solar pequeño que las épocas con ángulo cenital solar mayor. Concretamente, el cociente de exposición en la época de menor ángulo cenital solar (mayo-junio), es un **30%** superior para la posición horizontal y un **34,36%** superior para posición vertical respecto a la época en que el ángulo cenital es más grande (octubre-noviembre-diciembre).

Sin embargo, como también se había mencionado anteriormente, el carácter particular de la superficie metálica objeto de estudio, y más concretamente de su tipología de reflexión, hace que para la época de febrero-marzo-abril, en que el valor medio de ángulo cenital y del ángulo de inclinación sobre superficie vertical tiene un valor muy parecido, de **55,66°** y **54,36°** respectivamente, la dosis recibida en posición vertical frente al muro metálico resulta **6 veces** superior a la recibida frente a muro de hormigón.

6.5.2.- Tiempo hasta la aparición de eritema en la piel

En la tabla 6.29 se muestra un resumen de los tiempos para los que podría aparecer un eritema en la piel en los dos tipos de muros que se han estudiado, en posición horizontal y vertical para cada fototipo de piel y en cada época del año.

Tabla 6.29.- Tiempo hasta la aparición de eritema en la piel para cada época del año

Posición del dosímetro	Febrero-marzo-abril	Mayo-junio	Julio-septiembre	Octubre-noviembre-diciembre
Piel Tipo I				
MMH	1h	24 min	36min	1h35min
MMV	1h 10min	1h 25 min	1h12min	2h20min
MHH	52min	25min	39min	1h10min
MHV	7h 13min	3h 42min	3h51min	3h59min
SH	39min	24min	33min	1h11min
SV	5h 25min	2h 24min	1h44min	2h51min
Piel Tipo II				
MMH	1h 16min	30min	44min	1h59min
MMV	1h 28min	1h 47min	1h31min	2h55min
MHH	1h 6min	31min	48min	1h28min
MHV	9h 1min	4h 37min	4h49min	4h58min
SH	48min	31min	41min	1h29min
SV	6h 47min	3h 36min	2h10min	3h33min
Piel Tipo III				
MMH	1h 46min	42min	1h2min	2h47min
MMV	2h 4min	2h 30min	2h7min	4h5min
MHH	1h 32min	45min	1h7min	2h3min
MHV	12h 37min	6h 28min	6h44min	6h58min
SH	1h 8min	43min	58min	2h5min
SV	9h 30min	4h 12min	3h3min	4h59min

	Febrero-marzo-abril	Mayo-junio	Julio-septiembre	Octubre-noviembre-diciembre
Piel Tipo IV				
MMH	2h 16min	54min	1h20min	3h35min
MMV	2h 39min	3h 13min	2h43min	5h15min
MHH	1h 58min	57min	1h27min	2h38min
MHV	16h 13min	8h 19min	8h40min	8h57min
SH	1h 27min	55min	1h15min	2h40min
SV	12h 13min	5h 24min	3h55min	6h24min
Piel Tipo V				
MMH	2h 47min	1h 6min	1h38min	4h22min
MMV	3h 15min	3h 55min	3h19min	6h26min
MHH	2h 25min	1h 10min	1h46min	3h14min
MHV	19h 50min	10h 10min	10h35min	10h56min
SH	1h 47min	1h 8min	1h31min	3h16min
SV	14h 56min	6h 37min	4h47min	7h49min
Piel Tipo VI				
MMH	3h 18min	1h 18min	1h56min	5h10min
MMV	3h 50min	4h 38min	3h55min	7h36min
MHH	2h 51min	1h 23min	2h5min	3h49min
MHV	23h 27min	12h 1min	12h31min	12h56min
SH	2h 6min	1h 21min	1h48min	3h52min
SV	17h 39min	7h 49min	5h39min	9h15min

siendo:

MMH = Muro metálico horizontal

MMV = Muro metálico vertical

MHH = Muro de hormigón horizontal

MHV = Muro de hormigón vertical

SH = Sin muro enfrente horizontal

SV = Sin muro enfrente vertical

La tabla 6.29 cuantifica, en función del tiempo, las conclusiones que se habían extraído anteriormente al analizar los cocientes de exposición de los dos tipos de muro.

Se puede observar que, para el caso del muro metálico, son las épocas de mayo-junio y julio-septiembre, en las que la proporción de difusa sobre la radiación global es menor debido al menor ángulo cenital solar, cuando menor tiempo se requiere para la aparición de un eritema en la piel.

Como excepción a la observación anterior, hay que mencionar el caso de la posición vertical frente a muro metálico en la época de febrero-marzo-abril, en la que se da la máxima reflexión por parte del muro metálico.

Para la época de febrero-marzo-abril, el tiempo de exposición se hace más crítico frente a muro metálico y así, una persona con Piel Tipo II podría desarrollar un eritema en su piel en posición horizontal frente a muro metálico en **1h 16 minutos** y en posición vertical en **1h 28 minutos**, lo cual para esta época del año es un tiempo muy corto.

Además, la tabla 6.29 permite comparar situaciones curiosas que permiten hacerse una idea de la influencia de una u otra barrera como protección frente a la radiación eritemática recibida. Por ejemplo, una persona de piel Tipo I sería susceptible de desarrollar un eritema en la época de febrero-marzo-abril situado de espaldas al Sol frente a un muro metálico vertical en el mismo período de tiempo que una persona de Piel Tipo III en la época de julio-septiembre y situada en posición horizontal frente a muro de hormigón horizontal.

Capítulo 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL CASO III: INFLUENCIA DE LAS VENTANILLAS DE LOS VEHÍCULOS SOBRE LA UVER

En este capítulo se analizan los resultados que se han obtenido para el caso de las ventanillas de los vehículos como barrera física frente a la radiación UVER recibida por las personas situadas en su interior. Se ha analizado el caso de un vehículo con las ventanillas completamente abiertas y con las ventanillas completamente cerradas. Se ha estructurado el capítulo de forma que en primer lugar se analizan los resultados para cada época del año de manera independiente y en el último apartado se comparan los resultados para todas las épocas del año.

7.1.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VENTANILLAS DE LOS VEHÍCULOS SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE FEBRERO-MARZO-ABRIL

7.1.1.- Dosis de radiación UVER recibida

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, han sido los que se muestran en la tabla 7.1.

Con dosímetros solo se midió en febrero y marzo, mientras que con radiómetros también se midió en el mes de abril.

Tabla 7.1.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para el caso de coches en la época de febrero-marzo

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
febrero	23*	9:35	16:40	13,27	54,11	2,56	537,30		60,42	49,72	1
	26**	9:40	16:55	14,22	62,31	1,36	482,98	342	59,47	50,70	2
marzo	5*	10:00	14:00	12,50	43,87	8,20	537,03		57,17	53,09	4
	6**	10:10	14:45	12,78	30,19	9,84	611,13	383	54,13	51,11	1
	9*	9:45	16:40	16,10	48,90	3,37	620,55	316	55,83	54,50	1
	10**	9:35	16:50	15,38	56,40	2,36	614,79	338	55,49	54,86	1
	13*	9:30	14:40	18,59	44,24	2,62	634,23		54,46	55,93	1
	24**	9:30	14:00	20,50	30,44	2,50	634,10	332	50,70	59,97	1

* días en que se midió con las ventanillas completamente cerradas

** días en que se midió con las ventanillas completamente abiertas

Las variables de la tabla 7.1 se han explicado en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta primera campaña de medidas del año fueron en total **20**.

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas cerradas, en la tabla 7.2 se muestra, para las posiciones descritas en el apartado 4.2.3, los días de media.

Tabla 7.2.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas cerradas para la época de febrero-marzo

Posición	Días de medida
HC	23/2, 5/3, 9/3, 13/3
LC	23/2, 5/3, 9/3, 13/3
VC	23/2, 5/3, 9/3, 13/3
BC	23/2, 5/3, 9/3, 13/3
HP	23/2, 5/3, 9/3, 13/3
LP	23/2, 5/3, 9/3, 13/3
VP	23/2, 5/3, 9/3, 13/3
BP	23/2, 5/3, 9/3, 13/3

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas abiertas, en la tabla 7.3 se muestra para cada posición del dosímetro, los días de medida.

Tabla 7.3.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas abiertas para la época de febrero-marzo.

Posición	Días de medida
HC	26/2, 6/3, 10/3, 24/3
LC	26/2, 6/3, 10/3, 24/3
VC	26/2, 6/3, 10/3, 24/3
BC	26/2, 6/3, 10/3, 24/3
HP	26/2, 6/3, 10/3, 24/3
LP	26/2, 6/3, 10/3, 24/3
VP	26/2, 6/3, 10/3, 24/3
BP	26/2, 6/3, 10/3, 24/3

Para los dosímetros situados en al exterior del coche, en la tabla 7.4 se muestra para cada posición del dosímetro, los días de medida.

Tabla 7.4.- Días de medida para cada posición en el caso de exterior del coche para la época de febrero-marzo.

Posición	Días de medida
HS	26/2, 6/3, 10/3, 24/3
VS	26/2, 6/3, 10/3, 24/3

En primer lugar, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto con el coche con la ventanillas cerradas, como con las ventanillas abiertas y en cada una de las posiciones.

Para obtener los valores de las tablas 7.5, 7.6 y 7.7, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en sumar los registros de irradiación UVER de cada uno de los dosímetros empleados y para cada posición objeto de estudio, al final de la campaña de medidas.

Tabla 7.5.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están cerradas para febrero-marzo.

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
HC	532
LC	1149
VC	88
BC	667
HP	10
LP	149
VP	180
BP	103

Tabla 7.6.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están abiertas para febrero-marzo.

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
HC	196
LC	4250
VC	301
BC	3382
HP	16
LP	208
VP	103
BP	661

Tabla 7.7.- Valores absolutos de UVER a pleno sol para febrero-marzo.

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
HS	3484
VS	3685

En la figura 7.1 se representan dichos valores, tanto para el caso del coche con las ventanillas completamente cerradas, como para el caso del coche con las ventanillas completamente abiertas.

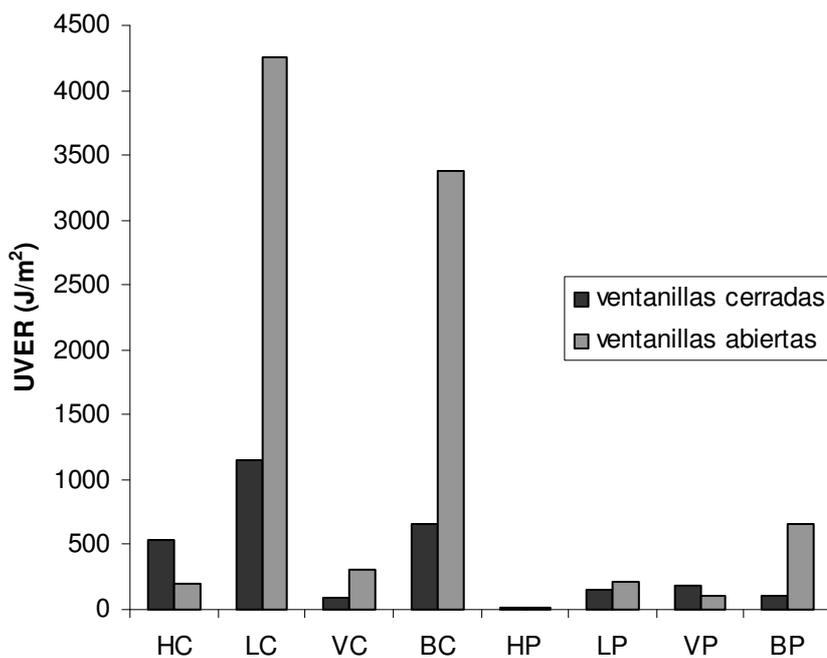


Figura 7.1.- Dosis UVER en distintas posiciones en la época de febrero-marzo para el caso de coches.

Debido a que existen importantes diferencias entre la dosis recibida con las ventanillas completamente cerradas y con las ventanillas completamente abiertas, se han representado estos dos casos por separado en las figuras 7.2 y 7.3.

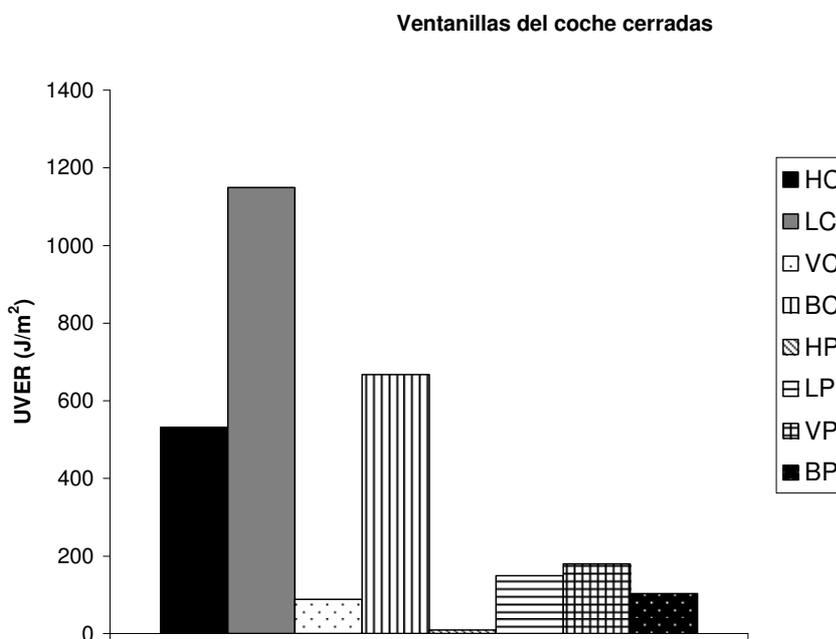


Figura 7.2.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas cerradas en la época de febrero-marzo.

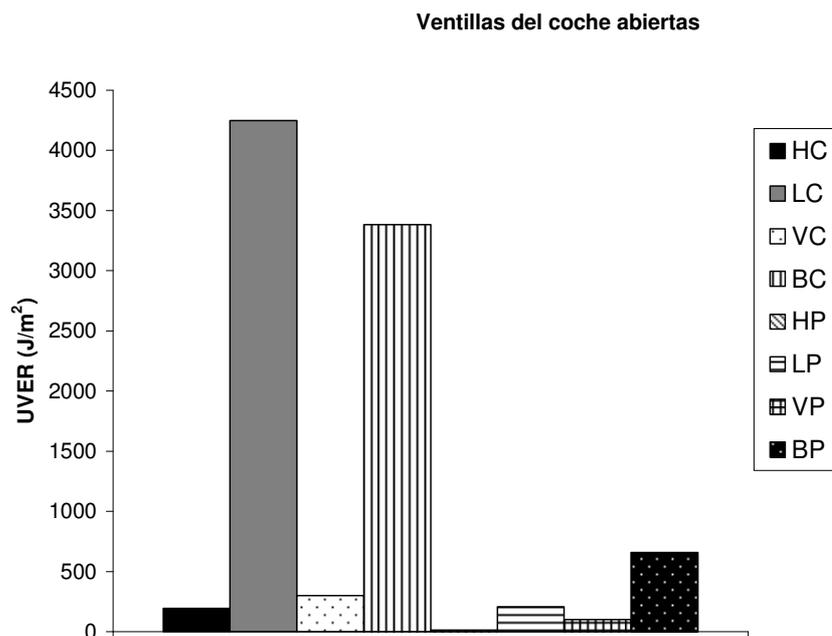


Figura 7.3.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas abiertas en la época de febrero-marzo.

Con anterioridad a la realización de la presente tesis, se conocía el hecho de que la mayoría de los cristales de un vehículo, filtraban casi totalmente la radiación UVB que incidía sobre los mismos, de forma que la única radiación que podía atravesar los mismos y tener algún tipo de efecto sobre los pasajeros era la radiación UVA. (Parisi et. al., 2002).

Con el presente estudio, en el que se han tomado valores de radiación UV eritemática, se ha comprobado que el efecto de los cristales es bastante notorio en cuanto al bloqueo de la radiación, pero sin embargo no es total, de forma que la persona que está en el interior del vehículo, puede recibir una dosis de radiación que, incluso con las ventanillas cerradas y dependiendo de la posición en el vehículo, puede ser superior al caso en que las ventanillas estén abiertas.

La dosis recibida en el interior del vehículo, y más todavía en el caso en que las ventanillas estén completamente cerradas, es reducida; sin embargo como el efecto de la dosis de radiación es acumulativo, la cantidad de radiación recibida a lo largo de un amplio período de tiempo puede no ser despreciable, sobretodo para personas que, por su profesión, deben pasar muchas horas en el interior del vehículo.

En la figura 7.3 se aprecia de manera general que la dosis UVER recibida por una persona en el interior de un vehículo con las ventanillas abiertas es muy superior al mismo caso pero con las ventanillas completamente cerradas.

Como se ha comentado anteriormente, dentro de un vehículo existen muchas variables que pueden influir en la cantidad de dosis recibida, como pueden ser la

orientación, las sombras que se producen en el interior del coche, las reflexiones que se producen por la presencia de objetos en el interior, el bloqueo que producen los cristales y el techo del vehículo, etc.

Es por ello que se pueden apreciar diferencias notables entre unas zonas y otras del vehículo. Sin embargo, se puede observar un denominador común, tanto en el caso de las ventanillas abiertas como en las ventanillas cerradas, y es que las dos zonas que más radiación reciben son, la posición **lateral del conductor mirando hacia la ventanilla (LC)** y la posición **horizontal del brazo del conductor (BC)**. Ello es debido principalmente a que la posición lateral del conductor se sitúa orientada casi perpendicularmente a la entrada de los rayos del Sol, sobretodo en esta época del año en que el valor del ángulo cenital solar es elevado. Por su parte, la posición horizontal del brazo, se encuentra muy cerca de la ventana y en una zona en la que apenas es influenciada por el efecto de bloqueo que puede suponer el techo del propio vehículo.

Este efecto bloqueador del techo se puede apreciar constatando el hecho de que para ambos casos (ventanillas abiertas y ventanillas cerradas), la posición en que menor radiación UVER se recibe es la **horizontal del pasajero (HP)**, ya que por un lado se encuentra alejada de la radiación solar (que entra por la zona izquierda del vehículo en todo momento) y por otro, se encuentra orientada hacia el techo del vehículo que bloquea la radiación incidente sombreando casi totalmente esta zona del vehículo.

A continuación se representan en las figuras 7.4 y 7.5, dichos valores para el conductor (figura 7.4) y el pasajero (figura 7.5) separadamente.

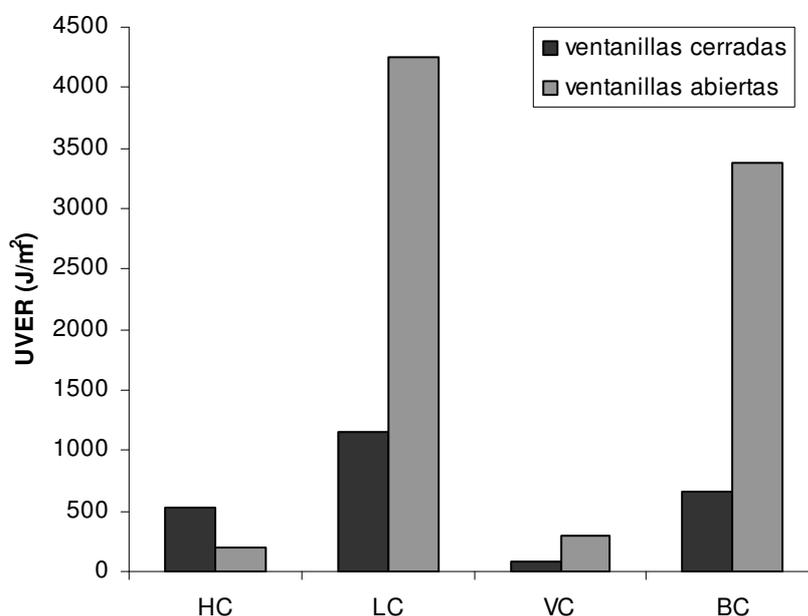


Figura 7.4.- UVER para el caso del conductor en la época de febrero-marzo.

Centrándonos en la zona ocupada por el **conductor** del vehículo y a la vista de los resultados mostrados en la figura 7.4, se puede concluir que las posiciones que más radiación UVER reciben son la posición **lateral con orientación hacia la ventanilla**

(LC) y la posición **horizontal que ocupa el brazo izquierdo (BC)** del conductor en el caso en que se apoye en la base de la ventana. Estas dos posiciones son las más afectadas, tanto si el vehículo tiene las ventanillas abiertas, como si las tiene cerradas. La posición lateral del conductor (LC), con las ventanillas cerradas recibe 1149 J/m^2 , sólo un **27,03%** de la radiación que recibe en el caso en que las ventanillas estuvieran abiertas, en que recibe 4250 J/m^2 , y en el caso del brazo del conductor (BC), con las ventanillas cerradas recibe 667 J/m^2 , un **19,72%** de la radiación que recibe en el caso en que las ventanillas estuvieran abiertas, en que recibe 3382 J/m^2 . Esto también muestra el efecto filtro que supone la presencia de las ventanillas.

La posición en que menos radiación se recibe es la de **vertical en dirección al parabrisas (VC) y con las ventanillas cerradas**. En esta posición se suman los efectos de la orientación no favorable hacia el Sol, el efecto de la ventanilla lateral como filtro de la radiación y el efecto del cristal del parabrisas, que además es laminado y ofrece un poco más de resistencia extra al paso de la radiación. En la posición **horizontal en la parte superior de la cabeza (HC)**, también es mínima la radiación recibida, debido al hecho de que, en este caso, el efecto de la ventanilla lateral se suplementa por la acción bloqueadora del techo del vehículo. Sin embargo, para esta época se ha detectado un valor excesivamente alto de la dosis recibida en la posición horizontal del conductor (HC) y con las ventanillas cerradas, lo cual puede haber sido debido a algún tipo de anomalía en el dosímetro de medida.

Como indicativo de la importancia que tienen dentro de una misma zona del vehículo las distintas posiciones adoptadas y la disposición de las ventanillas, se puede decir que en la posición lateral con orientación hacia la ventanilla (LC) y las ventanillas abiertas, se recibe un **97,9%** más de radiación que en la posición vertical, con orientación hacia el parabrisas (VC) y con las ventanillas cerradas.

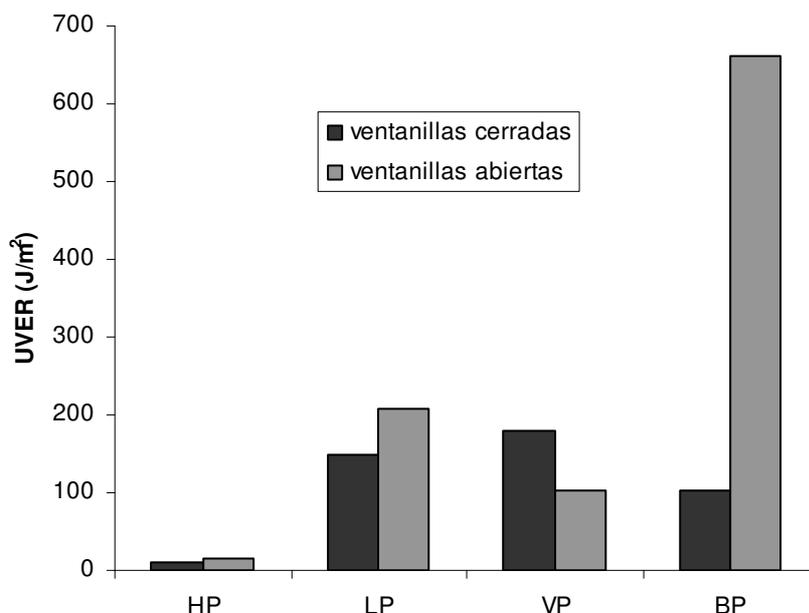


Figura 7.5.- UVER para el caso del pasajero en la época de febrero-marzo.

Para el caso particular de la zona que está ocupada por el **pasajero** dentro del vehículo, se puede observar en la figura 7.5, que las zonas con mayor dosis UVER recibida son las del **brazo derecho del pasajero (BP)** apoyado en la base de la ventanilla y con las ventanillas abiertas y la **posición lateral de la cabeza del pasajero con orientación hacia la ventanilla del conductor (LP)** con las ventanillas abiertas. Sin embargo, a diferencia del caso del conductor, aquí se observa que es considerablemente superior la dosis recibida en la zona del brazo que en la zona lateral; concretamente un **68,53%** más en el caso del brazo. Ello es debido a que, en este caso, la posición lateral hacia la ventanilla del conductor se encuentra bloqueada y, en muchos instantes, ensombrecida por la presencia física del conductor del vehículo; en cambio, la posición del brazo del pasajero no se encuentra bloqueada por la presencia del conductor.

Seguidamente a estas dos posiciones más críticas, aparecen la lateral (LP) pero con las ventanillas cerradas y la posición vertical en dirección al parabrisas (VP) y con las ventanillas cerradas.

La posición en que menos radiación se recibe es la **horizontal en la parte superior de la cabeza (HP)**, tanto para el caso de las ventanillas abiertas como cerradas. En esta posición, se suman los efectos de la orientación no favorable hacia el Sol, el efecto de la ventanilla lateral como filtro de la radiación y el efecto muy acusado en este caso del bloqueo que ofrece el techo del vehículo a la radiación recibida en estas zonas.

Todas estas conclusiones se pueden cuantificar y clarificar con el estudio de los siguientes cocientes de exposición:

- UVER con ventanilla cerrada / UVER al exterior $\equiv UVER_{VC} / UVER_E$
- UVER con ventanilla abierta / UVER al exterior $\equiv UVER_{VA} / UVER_E$
- UVER con ventanilla cerrada / UVER con ventanilla abierta $\equiv UVER_{VC} / UVER_{VA}$
- UVER con ventanilla abierta / UVER con ventanilla cerrada $\equiv UVER_{VA} / UVER_{VC}$

Estos cocientes se han analizado para cada una de las posiciones del conductor y del pasajero.

a) Conductor.

En la tabla 7.8 se muestran los valores de los índices para el caso del conductor.

Tabla 7.8.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del conductor en la época de febrero-marzo.

Posición del dosímetro	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_{VA}}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_{VC}}$
HC	0,15	0,06	2,71	0,37
LC	0,31	1,15	0,27	3,70
VC	0,023	0,08	0,29	3,42
BC	0,19	0,97	0,20	5,07

En las figuras 7.6 a 7.9, se observa la representación gráfica de dichos valores.

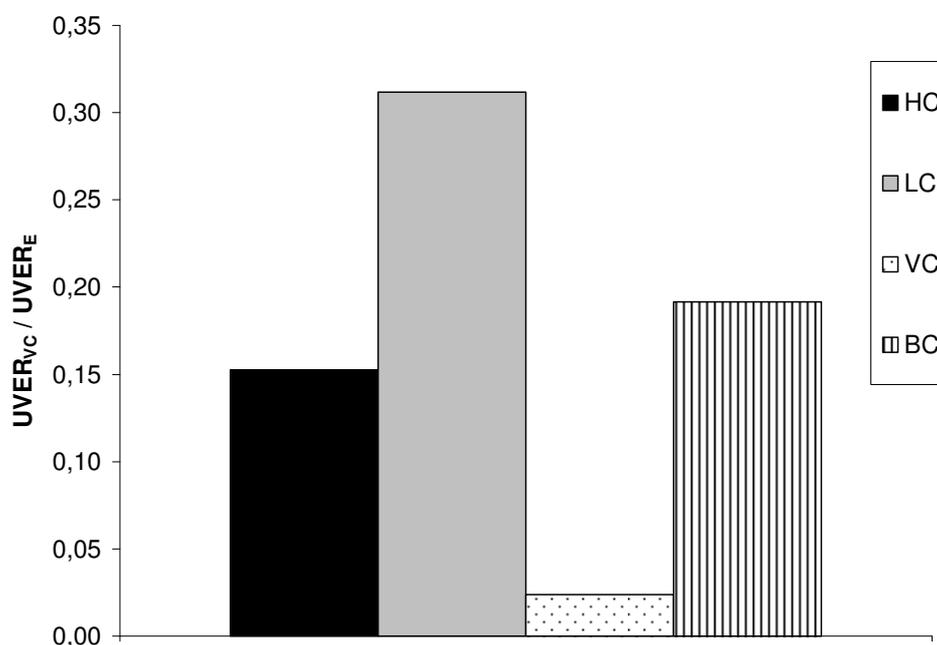


Figura 7.6.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el conductor en la época de febrero-marzo.

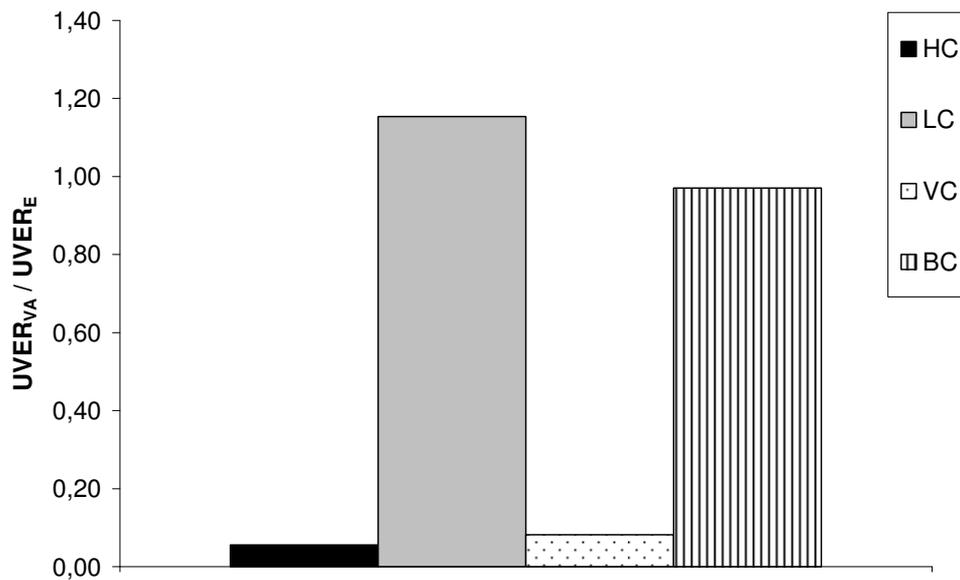


Figura 7.7.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el conductor en la época de febrero-marzo.

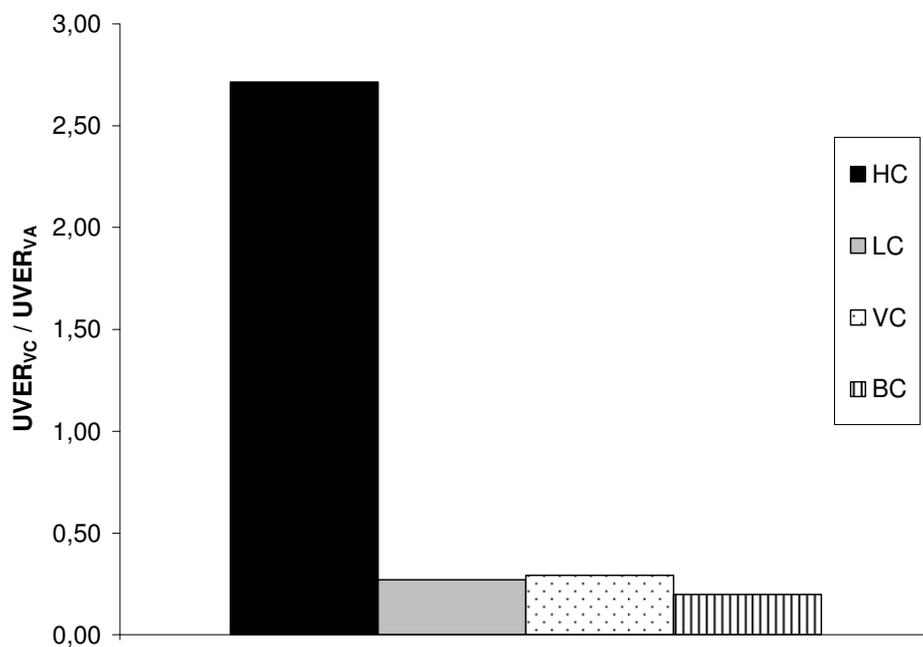


Figura 7.8.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el conductor en la época de febrero-marzo.

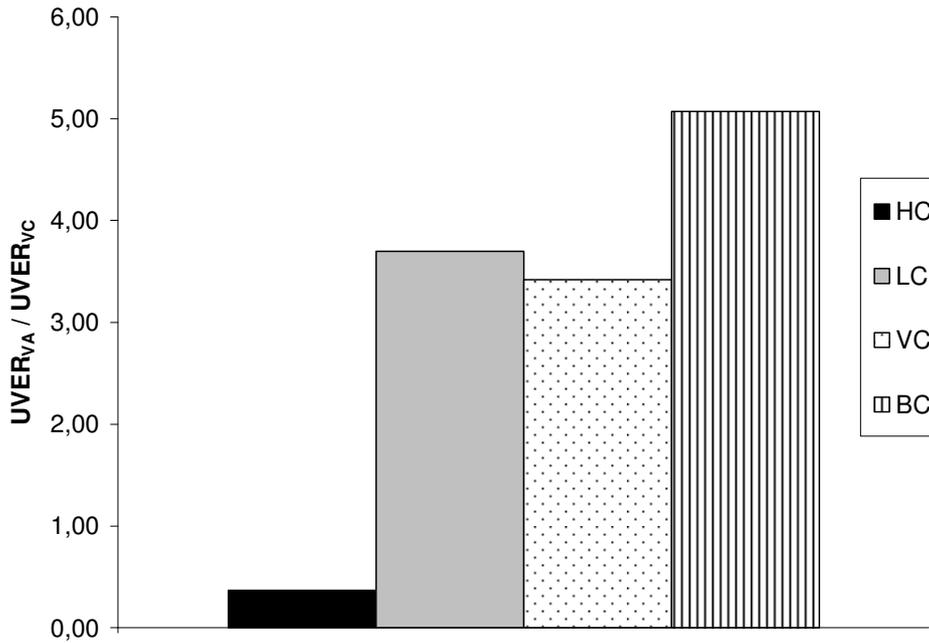


Figura 7.9.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el conductor en la época de febrero-marzo.

Del análisis proporcionado por los valores obtenidos en la tabla 7.8 y representados en las figuras 7.6 a 7.9, podemos cuantificar los efectos que se comentaban en párrafos anteriores de este mismo apartado. Para el caso con la **ventanilla cerrada**, en la posición lateral frente a la ventanilla (LC) se recibe un **31%** de la radiación que llegaría al exterior del vehículo y un **19%** en el caso del brazo del conductor (BC). Estos valores se incrementan considerablemente en el caso que las ventanillas estén completamente abiertas, tomando un valor de un **115%** para la posición lateral y un **97%** para el brazo izquierdo del conductor.

Esta diferencia entre la situación con las ventanillas abiertas y cerradas se aprecia claramente al estudiar el cociente **ventanillas cerradas / ventanillas abiertas**, que muestra que, en el caso de ventanillas cerradas, se recibe entre un **20%** y un **29%** de la radiación que se recibiría con las ventanillas abiertas para cualquier posición, a excepción del valor anómalo detectado en la posición horizontal del conductor con las ventanillas cerradas (HC).

Por otro lado, se observa como en las posiciones con orientación más alejada del Sol y con más barreras físicas que bloquean la radiación incidente, se recibe poca radiación, del orden del **2,3%** de la que se recibiría en el exterior del vehículo, como sucede en la posición vertical dirigida hacia el parabrisas (VC) y con las ventanillas cerradas.

b) Pasajero.

En la tabla 7.9 se muestran los valores de estos índices para el caso del pasajero.

Tabla 7.9.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del pasajero en la época de febrero-marzo.

Posición del dosímetro	$UVER_{VC}/UVER_E$	$UVER_{VA}/UVER_E$	$UVER_{VC}/UVER_{VA}$	$UVER_{VA}/UVER_{VC}$
HP	0,0029	0,0046	0,6250	1,6000
LP	0,0404	0,0564	0,7163	1,3960
VP	0,0488	0,0280	1,7476	0,5722
BP	0,0296	0,1897	0,1558	6,4175

En las figuras 7.10 a 7.13, se han representado gráficamente dichos índices.

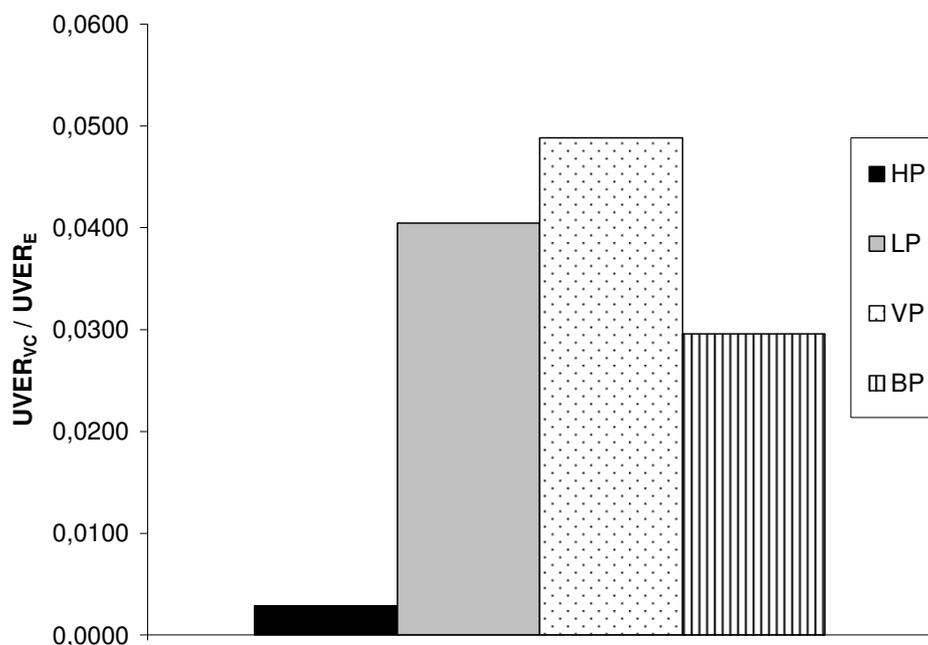


Figura 7.10.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el pasajero en la época de febrero-marzo.

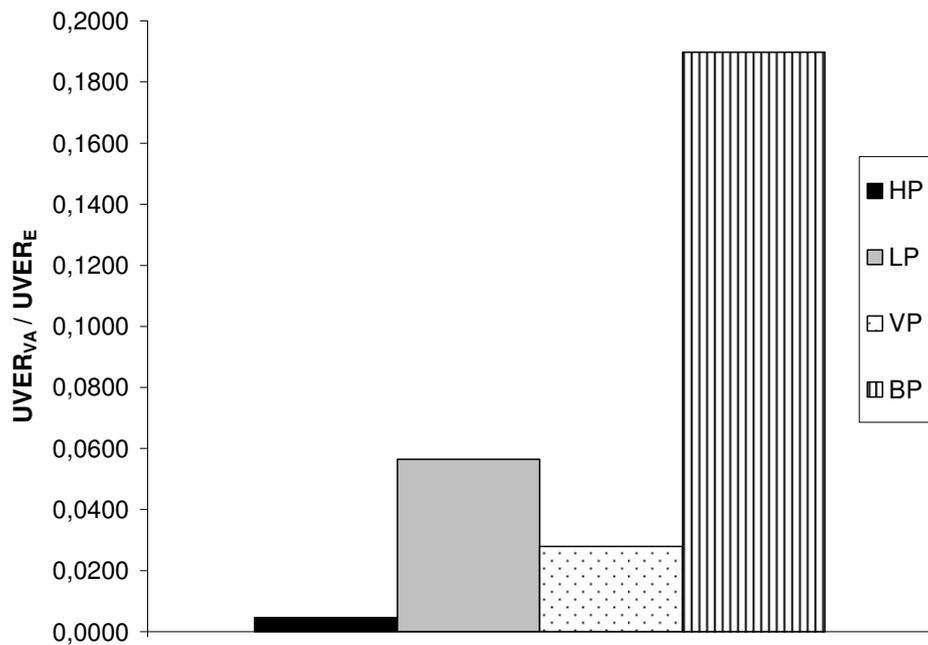


Figura 7.11.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el pasajero en la época de febrero-marzo.

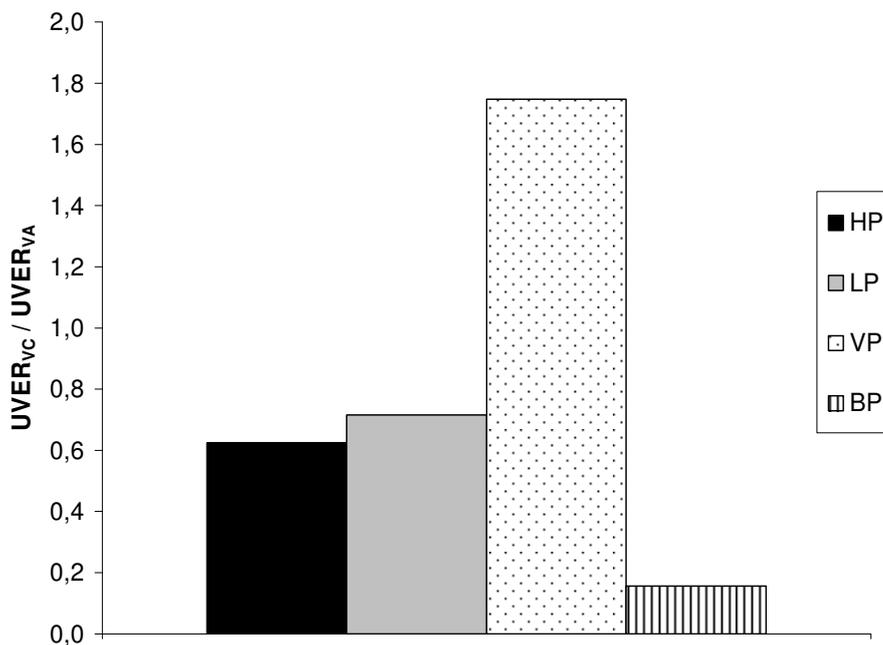


Figura 7.12.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el pasajero en la época de febrero-marzo.

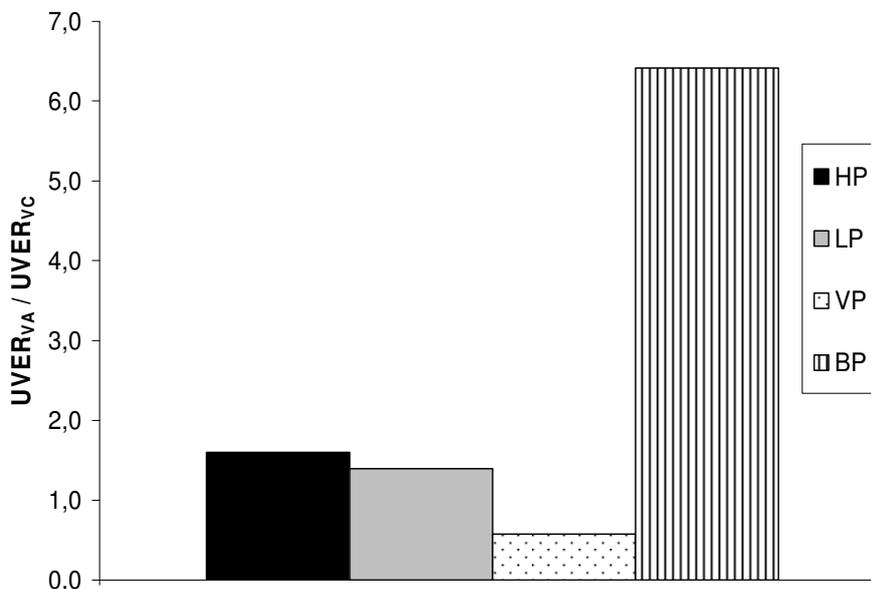


Figura 7.13.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el pasajero en la época de febrero-marzo.

En el caso del **pasajero**, se observa en general que los cocientes de exposición en las posiciones objeto de estudio son pequeños, sin embargo, al igual que en el caso del conductor, existen unas posiciones más afectadas que otras.

En la situación con las **ventanillas cerradas**, en posición lateral frente a la ventanilla del conductor (LP) y en la posición lateral frente al parabrisas (VP), se recibe un **4,0%** y un **4,8%** de la radiación que se recibiría en el exterior. Son las posiciones en que más radiación se recibe; sin embargo, para la situación con las **ventanillas abiertas**, es en la posición del brazo del pasajero (BP) y lateral frente a la ventanilla (LP) con un **18,9%** y un **5,6%** donde más porcentaje de radiación se recibe respecto a la del exterior.

El hecho de que no coincidan las posiciones críticas para el caso con las ventanillas cerradas y con las ventanillas abiertas en la zona del pasajero, puede deberse al hecho de que en esta zona los dosímetros están suficientemente alejados de la dirección del Sol y además son obstaculizados en algunos instantes por la posición del conductor y de otros obstáculos en el coche, como el techo y los vidrios de las ventanillas, que ponen en juego multitud de variables difíciles de controlar, como las sombras y las reflexiones que se producen. Prueba de ello es el valor que puede parecer anómalo del cociente de la ventanilla cerrada respecto a la ventanilla abierta para la posición vertical hacia el parabrisas (VP), que alcanza un valor de **1,74**.

Lo que sí es evidente para este caso del pasajero, al igual que sucedía con el caso del conductor, es que existe una diferencia entre tener las ventanillas completamente

abiertas y completamente cerradas, de forma que una persona estando en el interior del coche, si mantiene todas las ventanillas abiertas puede estar expuesto a dosis de radiación que con el tiempo pueden ser considerables. Por ejemplo, en el caso del brazo del pasajero (BP), el hecho de mantener las ventanillas abiertas, puede incrementar en un factor de hasta un **6,4** la cantidad de radiación UVER recibida respecto al caso de tener las ventanillas cerradas (figura 7.13).

Por último, resaltar el hecho de que tanto en la posición con las ventanillas abiertas como cerradas, la ubicación en que menos radiación se recibe respecto a la que llega en la misma posición al exterior del vehículo, es la horizontal en la parte alta de la cabeza (HP) donde se recibe un **0,29%** y un **0,46%** de la radiación al exterior en el caso con ventanillas cerradas y abiertas respectivamente. Ello es debido a la suma del efecto de bloqueo que ofrece el techo del vehículo además de todos los anteriormente mencionados para la zona del pasajero.

7.1.2.- Tiempo hasta el eritema

En primer lugar, se muestra en las tablas 7.10 a 7.12, en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de febrero-marzo.

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas cerradas se muestra en la tabla 7.10.

Tabla 7.10.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de febrero-marzo.

Medida	Tiempo de medida
HC	19h 40min
LC	19h 40min
VC	19h 40min
BC	19h 40min
HP	19h 40min
LP	19h 40min
VP	19h 40min
BP	19h 40min

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas abiertas, los resultados se muestran en la tabla 7.11.

Tabla 7.11.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de febrero-marzo.

Medida	Tiempo de medida
HC	20h 5min
LC	20h 5min
VC	20h 5min
BC	20h 5min
HP	20h 5min
LP	20h 5min
VP	20h 5min
BP	20h 5min

Para el caso de medidas al exterior, los resultados se muestran en la tabla 7.12.

Tabla 7.12.- Tiempo de medidas al exterior en la época de febrero-marzo.

Medida	Tiempo de medida
HS	20h 50min
VS	20h 50min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

En las tablas 7.13, 7.14 y 7.15 se muestra el tiempo hasta que se produce el eritema en el período de febrero-marzo para diferentes posiciones del dosímetro en el sitio del conductor y del pasajero y para tres casos:

- a) ventanillas cerradas
- b) ventanillas abiertas
- c) medidas ambientes (en el exterior del coche)

- a) Caso ventanillas cerradas.

Los resultados se muestran en la tabla 7.13.

Tabla 7.13.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas cerradas para la época de febrero-marzo.

Posición dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HC	7h 23min	9h 14min	12h 55min	16h 37min	20h 19min	24h 1min
LC	3h 25min	4h 16min	5h 59min	7h 42min	9h 24min	11h 7min
VC	44h 40min	55h 51min	78h 11min	100h 31min	122h 52min	145h 13min
BC	5h 54min	7h 22min	10h 19min	13h 15min	16h 12min	19h 9min
HP	393h 12min	491h 30min	688h 6min	884h 42min	1081h 18min	1277h 54min
LP	26h 23min	32h 59min	46h 10min	59h 22min	72h 34min	85h 46min
VP	21h 50min	27h 18min	38h 13min	49h 9min	60h 4min	70h 59min
BP	38h 10min	47h 43min	66h 48min	85h 53min	104h 58min	124h 4min

- b) Caso ventanillas abiertas.

Los resultados se muestran en la tabla 7.14.

Tabla 7.14.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas abiertas para la época de febrero-marzo.

Posición dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HC	20h 29min	25h 36min	35h 51min	46h 6min	56h 21min	66h 35min
LC	56min	1h 10min	1h 39min	2h 7min	2h 36min	3h 4min
VC	13h 20min	16h 40min	23h 21min	30h 1min	36h 41min	43h 21min
BC	1h 11min	1h 28min	2h 4min	2h 40min	3h 16min	3h 51min
HP	251h	313h 45min	439h 15min	564h 45min	690h 15min	815h 45min
LP	19h 18min	24h 7min	33h 47min	43h 26min	53h 6min	62h 45min
VP	38h 59min	48h 44min	68h 13min	87h 43min	107h 13min	126h 43min
BP	6h 4min	7h 35min	10h 37min	13h 40min	16h 42min	19h 45min

c) Caso al exterior del coche.

Los resultados se muestran en la tabla 7.15.

Tabla 7.15.- Tiempo hasta el eritema para dosímetro horizontal y vertical en el caso de medidas al exterior del coche para la época de febrero-marzo.

Posición dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HS	1h 12min	1h 29min	2h 5min	2h 41min	3h 17min	3h 53min
VS	1h 7min	1h 24min	1h 58min	2h 32min	3h 6min	3h 40min

Se puede observar como, pese a que en el caso de las ventanillas cerradas es difícil que se pueda producir eritema en un período de tiempo razonable, sin embargo para esta época del año y en algunas posiciones en que las ventanillas estén todas abiertas, se puede producir un eritema en un tiempo de **56 minutos** (en el caso de la zona lateral del conductor en dirección a la ventanilla (LC)) y de **1h 11minutos** en el caso de la posición del brazo del conductor apoyado en la base de la ventanilla (BC).

7.1.3.- Medidas de irradiancia diaria

Las medidas de dosis UVER obtenida con los dosímetros, no permite conocer la irradiancia UVER.

Es por ello que, como complemento a las medidas de dosis efectuadas por los dosímetros, se ha efectuado una medida puntual empleando los radiómetros y registrando por tanto valores de irradiancia para un día medio.

Las medidas se efectuaron el 22 y el 24 de abril de 2009 tal como se muestra en la tabla 7.16.

Tabla 7.16.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con radiómetros para el interior del coche en la época de febrero-marzo-abril.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ_H (°)	Θ_V (°)	Cond. Cielo (okta)
abril	22*	9:40	14:45	22,03	29,19	2,13	786,24	352	41,56	70,19	1
	24**	9:36	14:44	21,04	49,89	5,48	811,04	323	41,01	70,83	1

* se midió con los radiómetros todo el día al exterior

** se midió con los radiómetros en el interior del coche, cambiando el estado de las ventanillas (completamente abiertas o completamente cerradas) cada hora.

Se ha representado en las figuras 7.14 a 7.16, medidas al exterior del coche y en el interior del coche, tanto para el caso de las ventanillas cerradas como abiertas. También se ha representado en dichas figuras la evolución del ángulo cenital (θ_H) y del ángulo de incidencia sobre una superficie vertical (θ_V).

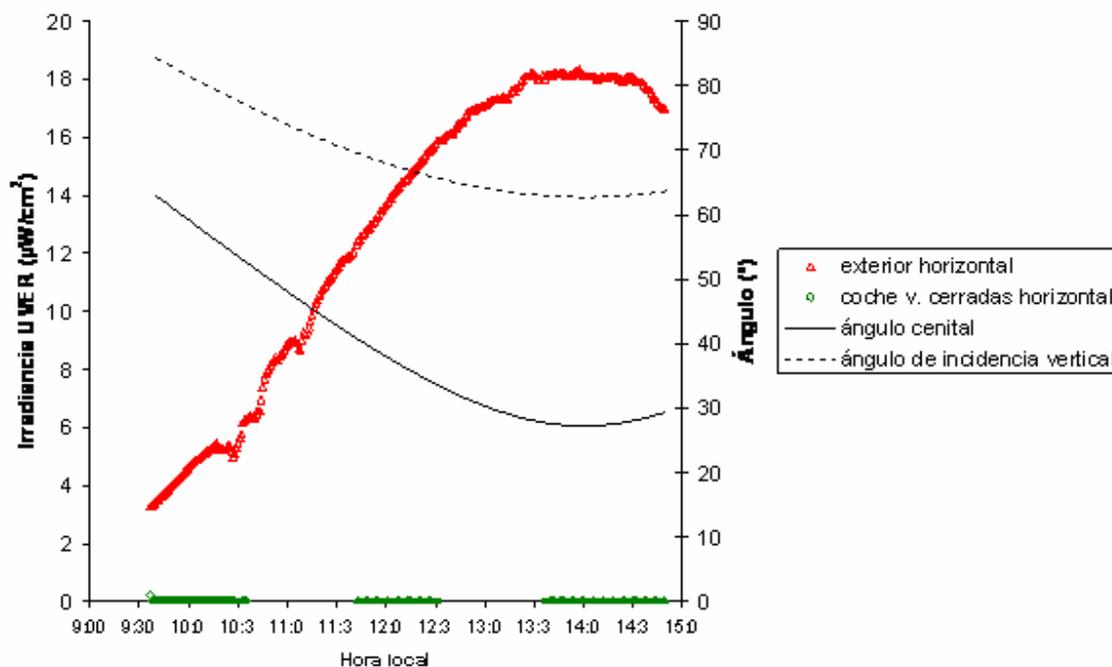


Figura 7.14.- Irradiancia diaria media en posición horizontal dentro del coche con las ventanillas cerradas y al exterior del coche para un día medio del mes de abril.

Debido a la diferencia entre la magnitud de la irradiancia UVER medida al exterior y la correspondiente en el interior del vehículo, se ha ampliado la escala de la figura 14 para poder ver más claramente la evolución de la irradiancia UVER en el interior del vehículo (figura 15).

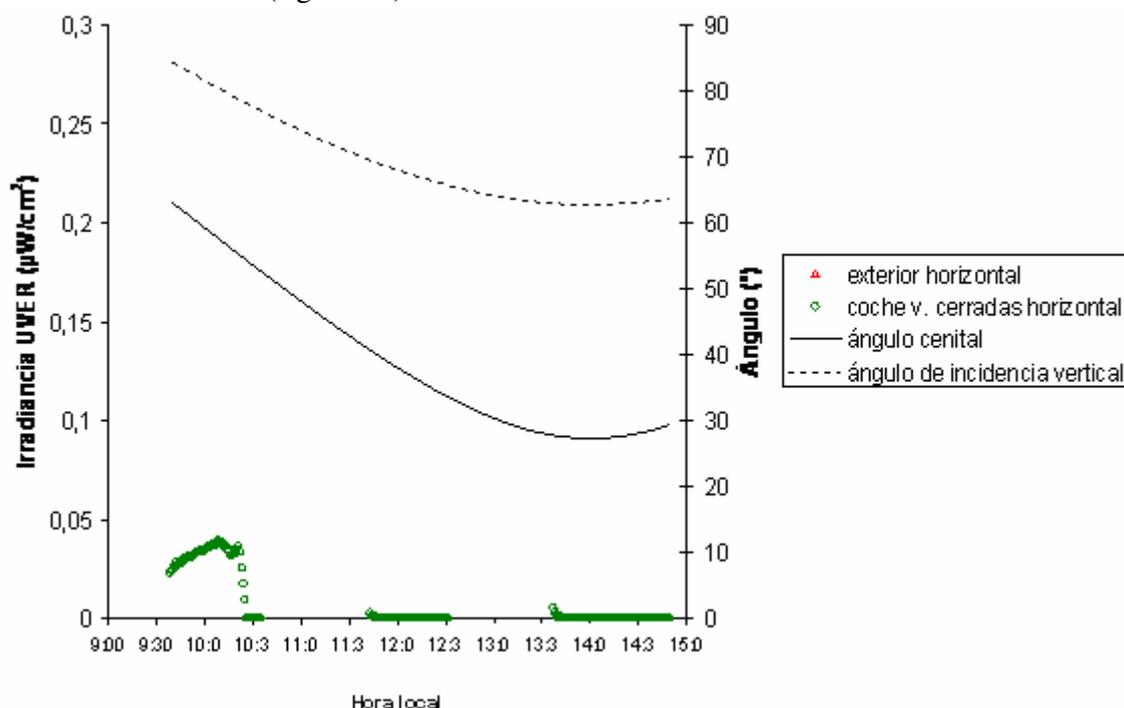


Figura 7.15.- Irradiancia diaria media en posición horizontal dentro del coche con las ventanillas cerradas para un día medio del mes de abril

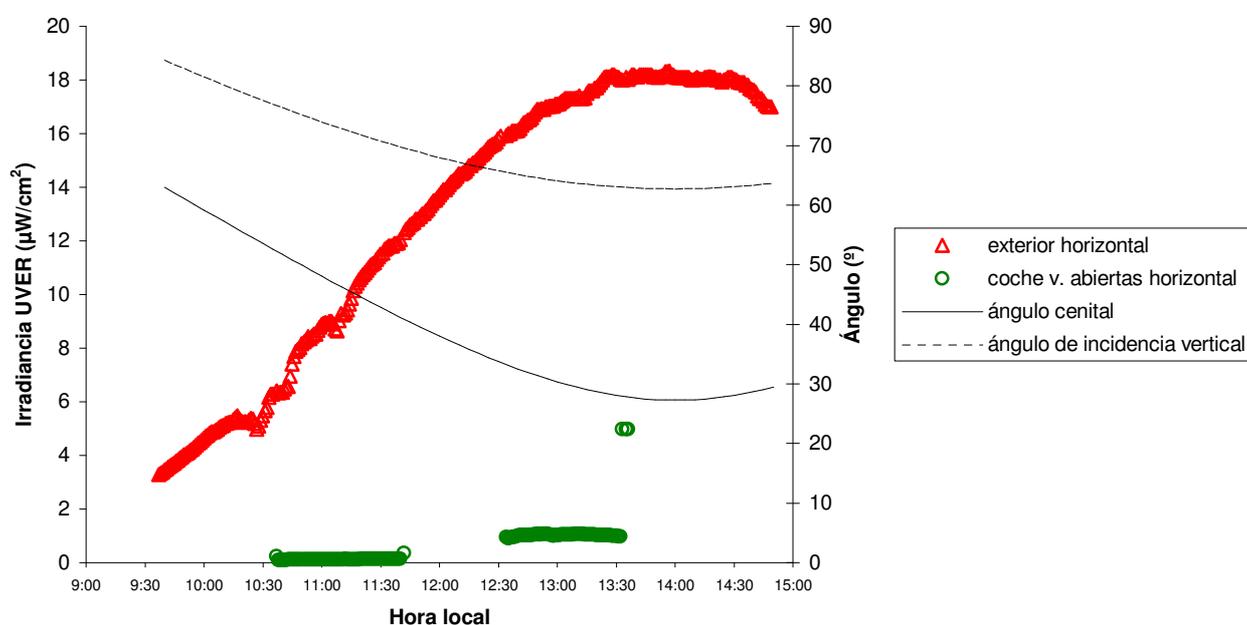


Figura 7.16.- Irradiancia diaria media en posición horizontal dentro del coche con las ventanillas abiertas y al exterior del coche para un día medio del mes de abril

Del análisis de las figuras 7.14, 7.15 y 7.16, se puede observar como, para un día de medida, la irradiancia UVER en la posición horizontal con las ventanillas cerradas es casi despreciable, como también se podía deducir del análisis de la dosis recibida por los dosímetros.

Sin embargo, se observa que, con las ventanillas abiertas, a las **13:36h**, la irradiancia recibida en posición horizontal en el interior del coche es un **27,6%** de la que se recibe en posición horizontal al exterior del vehículo.

En las siguientes figuras se muestra la comparación de la irradiancia medida en posición horizontal y vertical, para el caso del coche con las ventanillas cerradas (figura 7.17) y para el caso del coche con las ventanillas abiertas (figura 7.18).

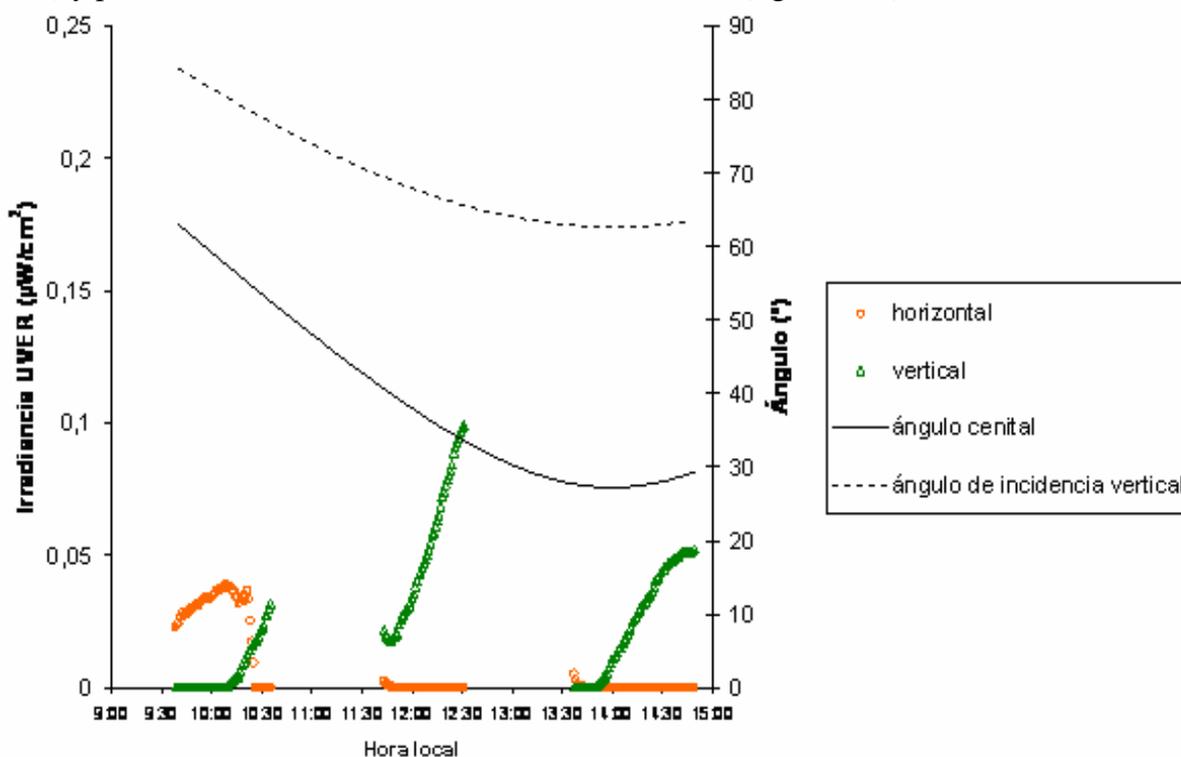


Figura 7.17.- Irradiancia diaria media en posición horizontal y vertical dentro del coche con las ventanillas cerradas para un día medio del mes de abril

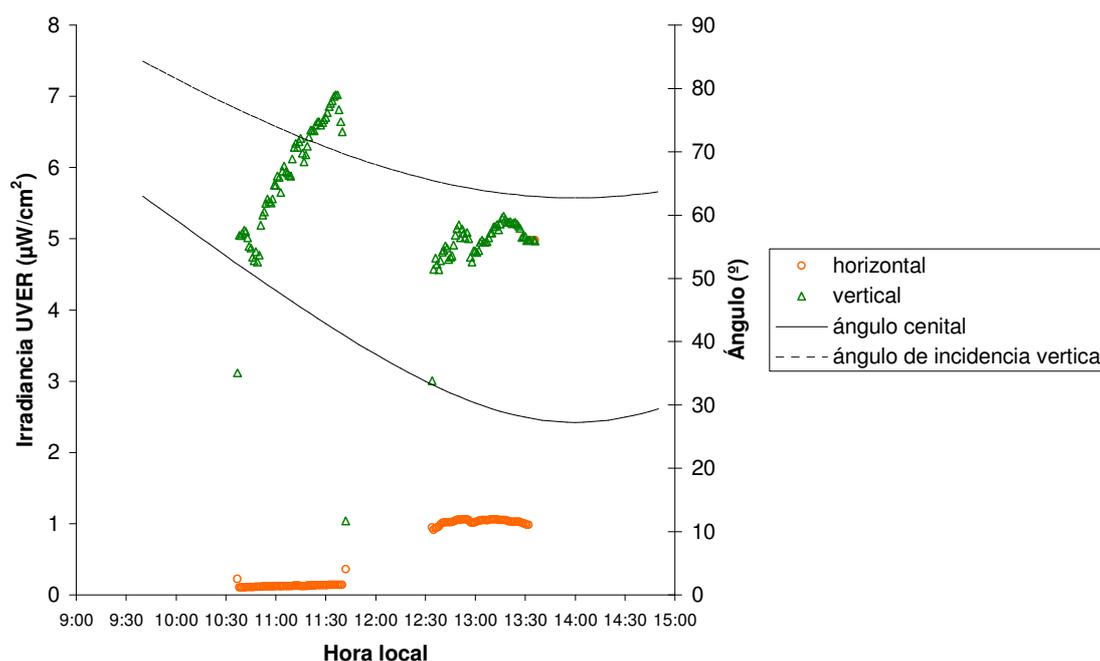


Figura 7.18.- Irradiancia diaria media en posición horizontal y vertical dentro del coche con las ventanillas abiertas para un día medio del mes de abril

Observando la figura 7.18, se comprueba que las posiciones con orientación hacia la ventanilla del conductor (vertical) reciben una mayor irradiancia que las posiciones con orientación horizontal en el caso en que las ventanillas estén abiertas.

De hecho, esta diferencia puede ser de hasta un **98%** en el caso de las primeras horas en que se midió (**11:15h**). Este porcentaje va disminuyendo conforme avanzamos hacia mediodía, situándose en un **79,13%** a las **13:10h**. Esto se debe a que a primeras horas de la mañana, el ángulo cenital solar es mayor y por tanto los rayos del Sol inciden más perpendicularmente sobre el radiómetro colocado en posición vertical. En cambio para ángulos cenitales menores, el Sol incide más oblicuamente sobre el dosímetro vertical y en cambio de manera más perpendicular sobre el radiómetro horizontal, que, no obstante, sigue acusando el efecto bloqueador de la radiación que ejerce el techo del vehículo.

7.2.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VENTANILLAS DE LOS VEHÍCULOS SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE MAYO-JUNIO

7.2.1.- Dosis de radiación UVER recibida

En esta época del año, las condiciones meteorológicas favorables posibilitaron efectuar las medidas durante más días. Por este motivo y con el objetivo de no sumar en esta época un número de días que excediera demasiado en comparación con el resto de épocas del año, se decidió efectuar la campaña de medidas en solo dos meses: mayo y junio.

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, han sido los que se muestran en la tabla 7.17.

Tabla 7.17.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para coches en la época de mayo-junio.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
mayo	4*	9:50	16:50	21,77	35,08	2,66	825,74	351	38,51	73,79	1
	26**	9:45	16:50	25,55	38,18	3,97	778,28	332	34,57	78,69	1
	28*	9:50	16:15	25,48	29,23	2,19	788,16	344	34,32	79,00	1
junio	1**	9:50	16:15	23,28	54,42	3,32	781,50		33,89	79,56	1
	22*	10:35	16:40	25,45	60,38	3,50	725,09		32,90	80,87	3
	29**	9:35	16:20	27,14	58,00	2,60	765,55	324	33,04	80,68	1

* días en que se midió con las ventanillas completamente cerradas

** días en que se midió con las ventanillas completamente abiertas

Las variables de la tabla 7.17 se han explicado en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta campaña de medidas fueron en total **20**.

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas cerradas, en la tabla 7.18 se muestra para cada posición del dosímetro descrita en el apartado 4.2.3, los días de media.

Tabla 7.18.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas cerradas para la época de mayo-junio.

Posición	Días de medida
HC	4/5, 28/5, 22/6
LC	4/5, 28/5, 22/6
VC	4/5, 28/5, 22/6
BC	4/5, 28/5, 22/6
HP	4/5, 28/5, 22/6
LP	4/5, 28/5, 22/6
VP	4/5, 28/5, 22/6
BP	4/5, 28/5, 22/6

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas abiertas, en la tabla 7.19 se muestra, para cada posición del dosímetro, los días de medida.

Tabla 7.19.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas abiertas para la época de mayo-junio.

Posición	Días de medida
HC	26/5, 1/6, 29/6
LC	26/5, 1/6, 29/6
VC	26/5, 1/6, 29/6
BC	26/5, 1/6, 29/6
HP	26/5, 1/6, 29/6
LP	26/5, 1/6, 29/6
VP	26/5, 1/6, 29/6
BP	26/5, 1/6, 29/6

Para los dosímetros situados en al exterior del coche, en la tabla 7.20 se muestra para cada posición del dosímetro, los días de media.

Tabla 7.20.- Días de medida para cada posición en el caso de exterior del coche para la época de mayo-junio.

Posición	Días de medida
HS	4/5, 26/5, 28/5, 1/6, 22/6, 29/6
VS	4/5, 26/5, 28/5, 1/6, 22/6, 29/6

En primer lugar, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época tanto con el coche con las ventanillas cerradas como con las ventanillas abiertas y en cada una de las posiciones.

Para obtener los valores de la tabla 7.21 a 7.24, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en sumar los registros de irradiación UVER de cada uno de los dosímetros empleados y para cada posición objeto de estudio, al final de la campaña de medidas.

Tabla 7.21.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están cerradas para la época de mayo-junio.

Posición del dosímetro	UVER (J/m ²)
HC	0
LC	1283
VC	0
BC	1627
HP	269
LP	0
VP	215
BP	489

Tabla 7.22.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están abiertas para la época de mayo-junio.

Posición del dosímetro	UVER (J/m ²)
HC	311
LC	3404
VC	269
BC	6000
HP	113
LP	323
VP	381
BP	5525

Tabla 7.23.- Valores absolutos de UVER a pleno sol en día de medida de coche con ventanillas cerradas para la época de mayo-junio.

Posición del dosímetro	UVER (J/m ²)
HS	7300
VS	4217

Tabla 7.24.- Valores absolutos de UVER a pleno sol en día de medida de coche con ventanillas abiertas para la época de mayo-junio.

Posición del dosímetro	UVER (J/m ²)
HS	7300
VS	7082

En la figura 7.19 se representan dichos valores tanto para el caso del coche con las ventanillas completamente cerradas como para el caso del coche con las ventanillas completamente abiertas.

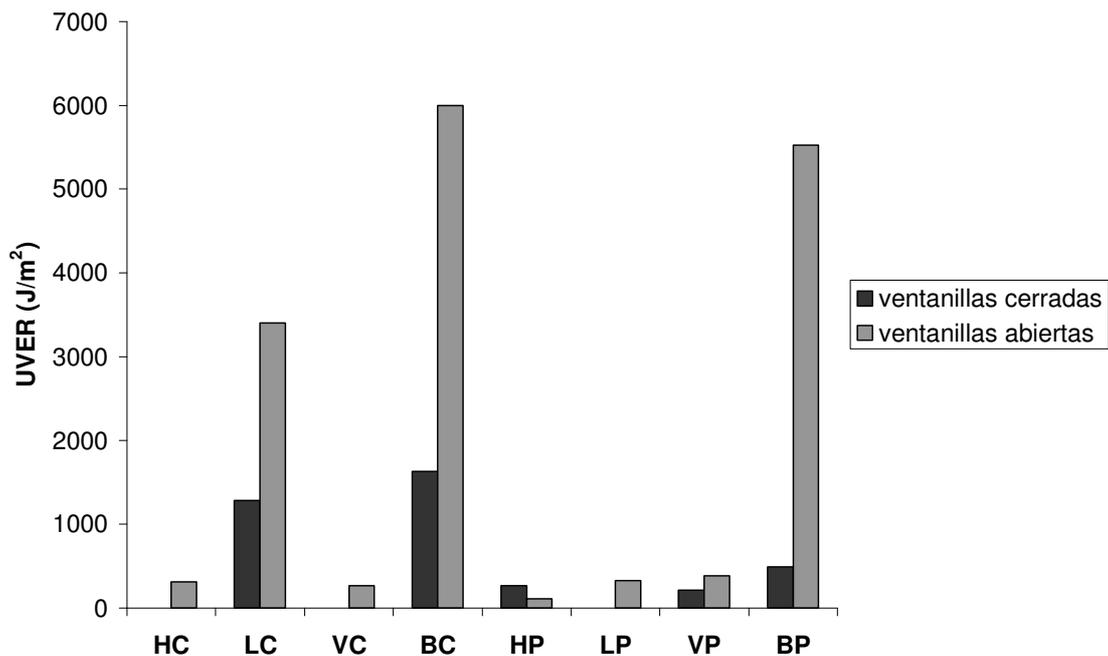


Figura 7.19.- Dosis UVER en distintas posiciones en la época de mayo-junio

Debido a que existen importantes diferencias entre la dosis recibida con las ventanillas completamente cerradas y con las ventanillas completamente abiertas, se han representado estos dos casos por separado en las figuras 7.20 y 7.21.

Ventanillas del coche cerradas

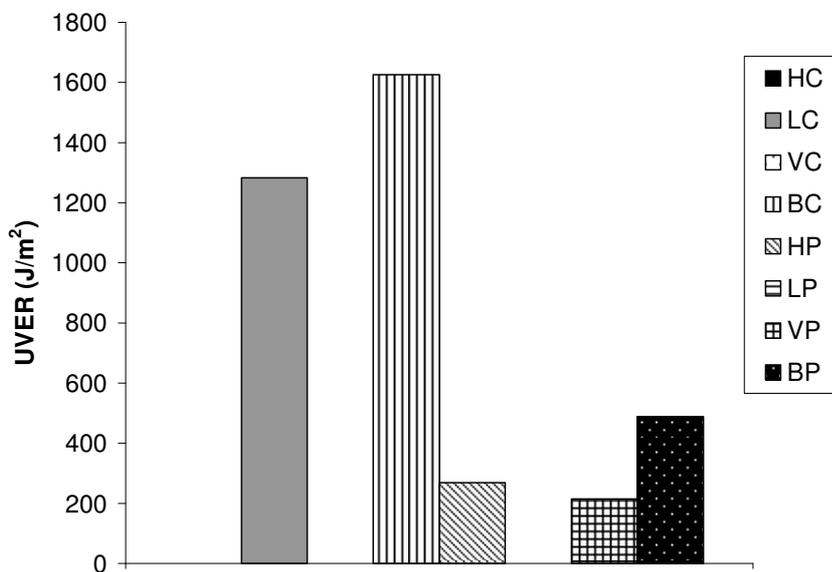


Figura 7.20.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas cerradas en la época de mayo-junio.

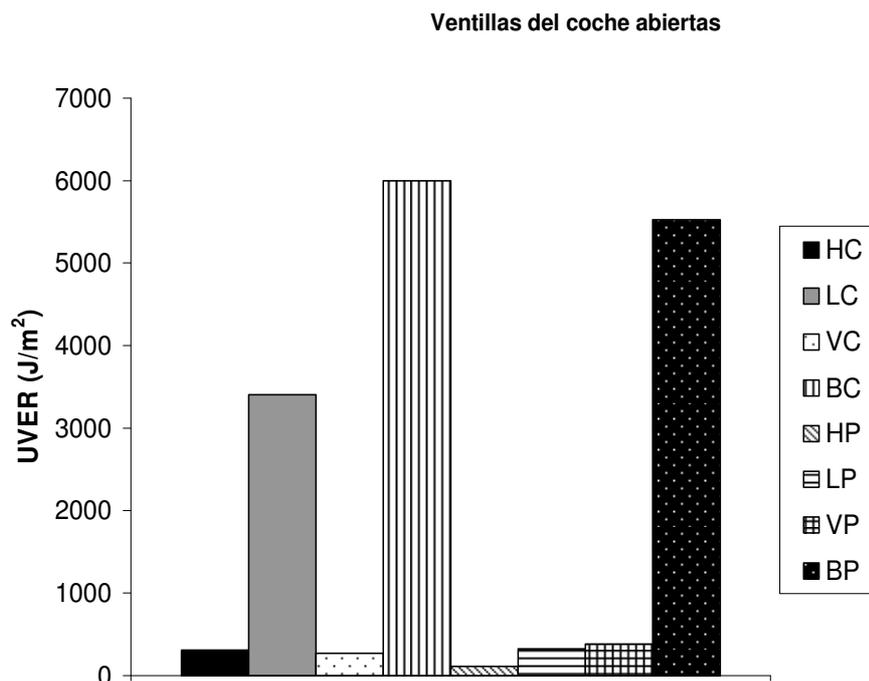


Figura 7.21.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas abiertas en la época de mayo-junio.

En la figura 7.19, se aprecia de manera general que la dosis UVER recibida por una persona en el interior de un vehículo con las ventanillas abiertas, es sensiblemente superior al mismo caso pero con las ventanillas completamente cerradas. Además se alcanzan valores bastante elevados de dosis, debido a que en esta época del año la radiación solar comienza a ser más intensa.

Como se ha comentado anteriormente, dentro de un vehículo existen muchas variables que pueden influir en la cantidad de dosis recibida, como pueden ser la orientación, las sombras que se producen en el interior del coche, las reflexiones que se producen por la presencia de objetos en el interior, el bloqueo que producen los vidrios de las ventanillas, el techo del vehículo, etc.

Es por ello que se pueden apreciar diferencias notables entre unas zonas y otras del vehículo. Sin embargo se puede observar un denominador común, tanto en el caso de las ventanillas abiertas como en las ventanillas cerradas, y es que las dos zonas que más radiación reciben son, el **brazo izquierdo del conductor (BC)**, seguido de la posición **lateral del conductor orientado hacia la ventanilla (LC)** y apreciamos como tiene mucha importancia también la dosis recibida en el **brazo derecho del pasajero (BP)**, que en el caso del coche con las ventanillas abiertas, pasa a ser la segunda zona con más dosis recibida superando a la posición lateral del conductor (LC). Este orden se debe a que, en esta época del año, el sol tiene ángulos cenitales bajos (concretamente tiene un valor promedio para los días de medida de $34,54^\circ$) y por tanto incide de manera más perpendicular sobre los dosímetros colocados en posición horizontal que no tienen el techo del vehículo como obstáculo (brazo de conductor y pasajero) superando incluso

a la posición lateral hacia la ventanilla (LC) que, en esta época del año, recibe los rayos del sol de manera más oblicua. De hecho, se pueden observar diferencias entre las dosis recibidas en las posiciones horizontales y verticales que son superiores a otras épocas del año.

La posición del Sol y el ángulo con que incide en el interior del vehículo, hace que para determinadas posiciones en el interior del mismo, la radiación recibida sea prácticamente nula. Eso sucede en el caso del coche con las ventanillas cerradas y para las posiciones para las que el hecho de que el Sol esté más alto implica un efecto adicional de bloqueo de la radiación; concretamente para la posición **horizontal del conductor (HC)**, **vertical hacia delante del conductor (VC)** y **lateral hacia la ventanilla del conductor (LC)**. En el caso con ventanillas abiertas, también es en estas posiciones en que se alcanzan los mínimos valores de dosis recibida.

A continuación se representan en las figuras 7.22 y 7.23, dichos valores para el conductor (figura 7.22) y el pasajero (figura 7.23) separadamente.

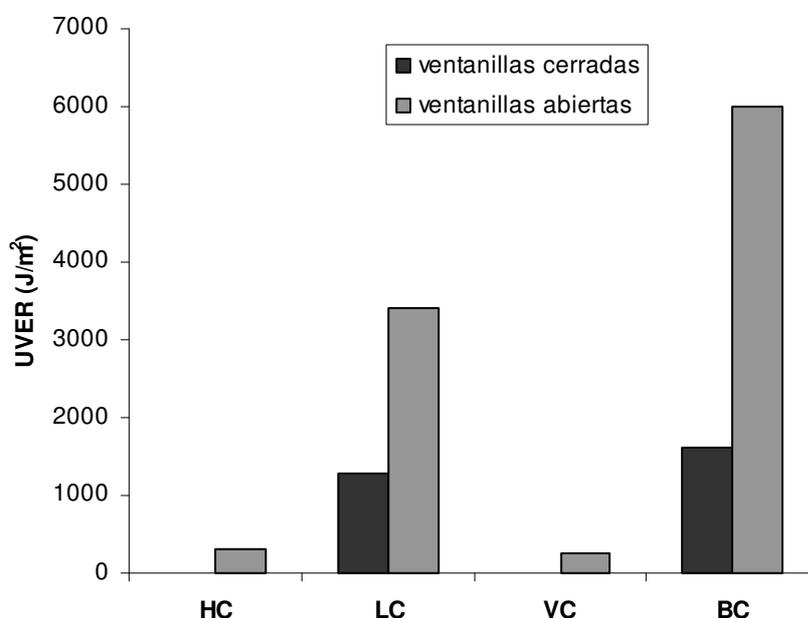


Figura 7.22.- UVER para el caso del conductor en la época de mayo-junio.

Centrándonos en la zona ocupada por el **conductor** del vehículo y a la vista de los resultados mostrados en la figura 7.22, podemos concluir que las posiciones más afectadas por la radiación UVER recibida son la posición **horizontal que ocupa el brazo izquierdo (BC)** del conductor, en el caso en que se apoye en la base de la ventana y la posición de la cabeza en **lateral con orientación hacia la ventanilla (LC)**. Existe una importante diferencia, no obstante entre ambas, de manera que el brazo recibe un **43,26%** más de radiación que la zona lateral. Esta diferencia no es tan grande si las ventanillas del vehículo están cerradas. Estas dos posiciones son las más afectadas, tanto si el vehículo tiene las ventanillas abiertas como si las tiene cerradas. Para la posición lateral del conductor (LC), con las ventanillas cerradas recibiría un **37,69%** de la radiación en el caso en que las ventanillas estuvieran abiertas y en el caso del brazo del conductor (BC) con las ventanillas cerradas recibiría un **27,11%** de la radiación que recibiría con las ventanillas abiertas. Esto también muestra el efecto filtro que conlleva la presencia de los cristales.

La posición en que menos radiación recibe es la de **vertical en dirección al parabrisas (VC) con las ventanillas cerradas y horizontal en la parte superior de la cabeza (HC)**. En estas posiciones, se suman los efectos de la orientación no favorable hacia el sol, el efecto de la ventanilla lateral como filtro de la radiación, el efecto del cristal del parabrisas y sobretodo el efecto del techo que bloquea la mayor parte de la radiación, debido a la posición relativa del Sol que tiene un ángulo cenital pequeño.

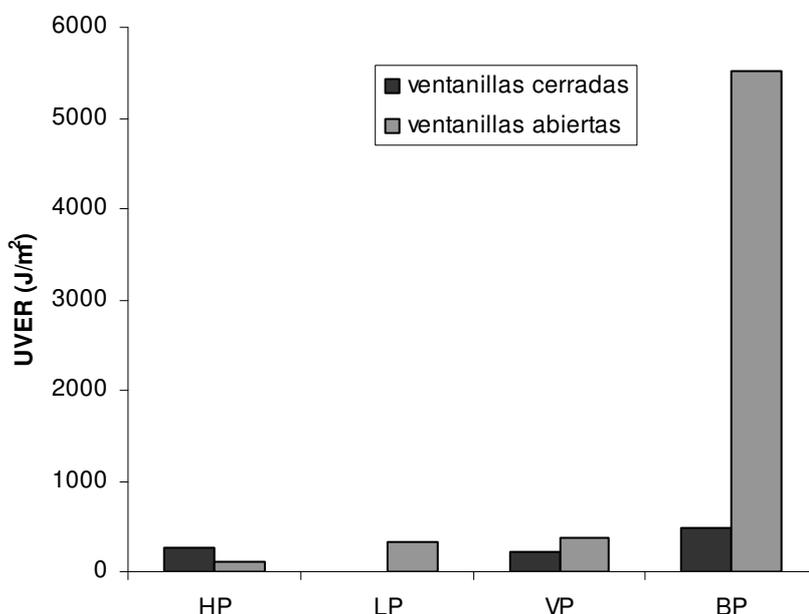


Figura 7.23.- UVER para el caso del pasajero en la época de mayo-junio

Para el caso particular de la zona que está ocupada por el **pasajero** dentro del vehículo, se puede observar en la figura 7.23, que la zona con mayor dosis UVER recibida es claramente la del **brazo derecho del pasajero (BP)** apoyado en la base de la ventanilla y con las ventanillas abiertas. De hecho, la diferencia con la siguiente posición con más dosis recibida, que es el mismo brazo pero con las ventanillas cerradas, es de un **91,15%**. Ello es debido a que, en este caso, las posiciones laterales y verticales se encuentran no solo bloqueadas y en muchos instantes ensombrecidas por la presencia física del conductor del vehículo, sino también por la acción de bloqueo del techo para el ángulo cenital del Sol en esta época del año.

La posición en que menos radiación se recibe es la **lateral orientada hacia la ventanilla del conductor (LP)** con las ventanillas cerradas, debido a la suma de efectos comentados en el párrafo anterior.

Todas estas conclusiones se pueden cuantificar y clarificar con el estudio de los siguientes cocientes de exposición:

- UVER con ventanilla cerrada / UVER al exterior $\equiv UVER_{VC} / UVER_E$
- UVER con ventanilla abierta / UVER al exterior $\equiv UVER_{VA} / UVER_E$
- UVER con ventanilla cerrada / UVER con ventanilla abierta $\equiv UVER_{VC} / UVER_{VA}$
- UVER con ventanilla abierta / UVER con ventanilla cerrada $\equiv UVER_{VA} / UVER_{VC}$

Estos cocientes se han analizado para cada una de las posiciones del conductor y del pasajero.

a) Conductor.

En la tabla 7.25 se muestran los valores de los índices para el caso del conductor.

Tabla 7.25.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del conductor en la época de mayo-junio.

Posición del dosímetro	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_{VA}}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_{VC}}$
HC	0,00	0,04	0,00	∞
LC	0,30	0,48	0,38	2,65
VC	0,00	0,04	0,00	∞
BC	0,22	0,82	0,27	3,69

En las figuras 7.24 a 7.27, se observa la representación gráfica de dichos valores.

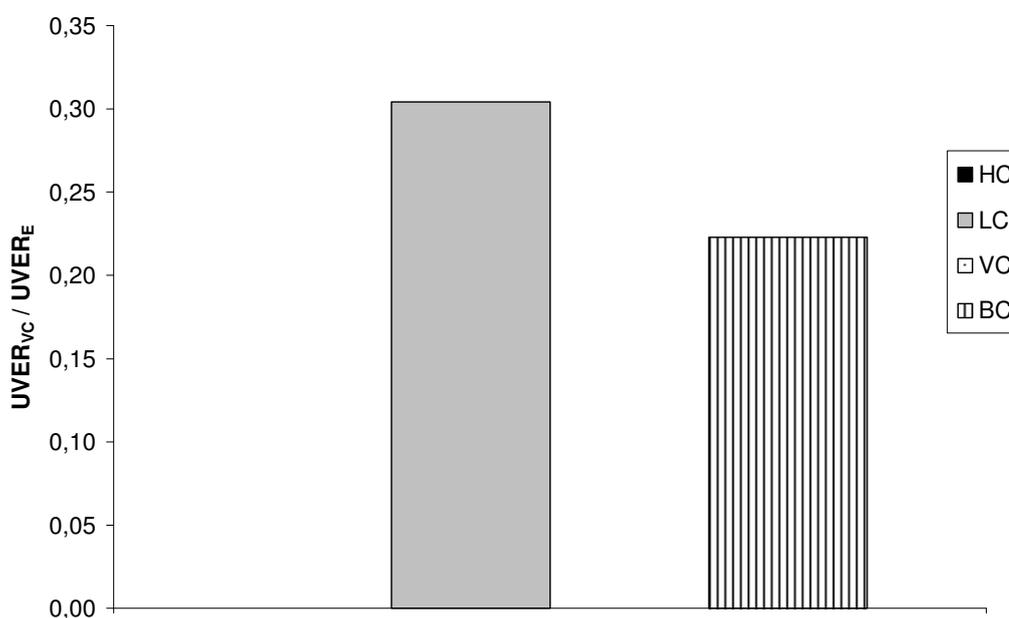


Figura 7.24.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el conductor en la época de mayo-junio.

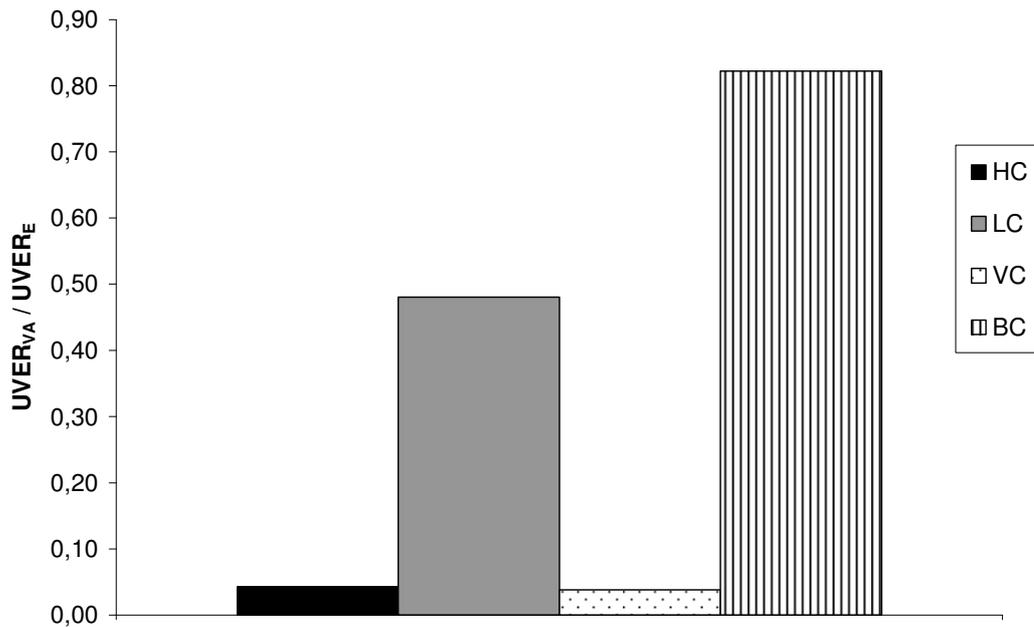


Figura 7.25.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el conductor en la época de mayo-junio.

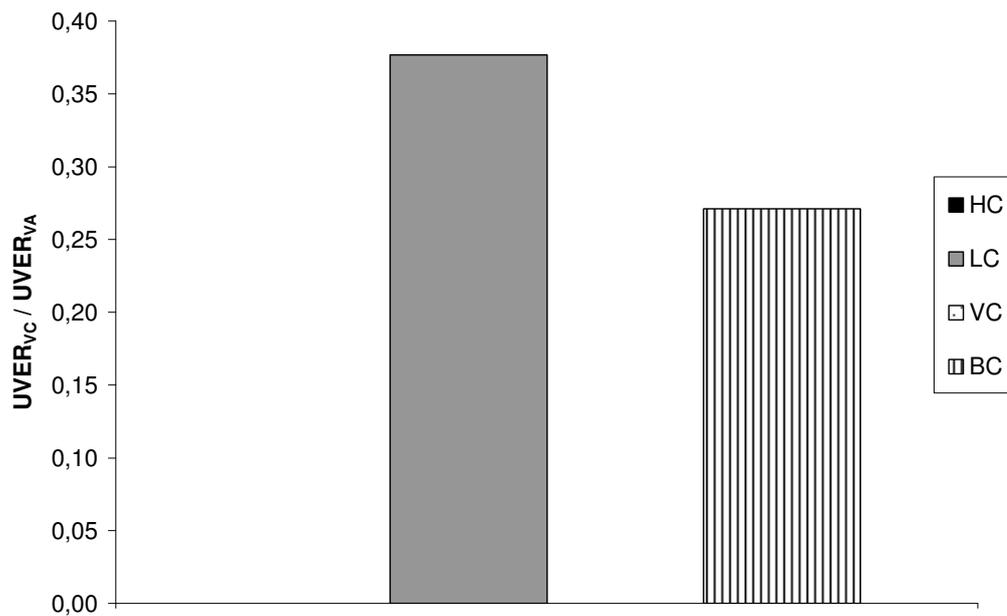


Figura 7.26.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el conductor en la época de mayo-junio.

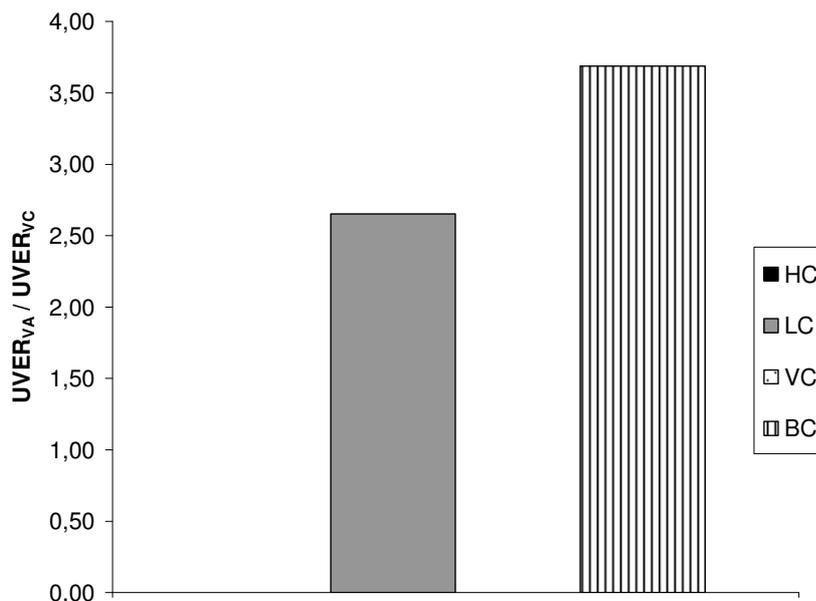


Figura 7.27.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el conductor en la época de mayo-junio.

Del análisis proporcionado por los valores obtenidos en la tabla 7.25 y representados en las figuras 7.24 a 7.27, podemos cuantificar los efectos que se comentaban en párrafos anteriores de este mismo apartado. Para el caso con las ventanillas cerradas, en la posición de **lateral frente a la ventanilla (LC)** se recibe un **30%** de la radiación que llegaría al exterior del vehículo y un **22%** en el caso del **brazo del conductor (BC)**. El hecho de que sea mayor el cociente de la posición lateral, pese a que la radiación total recibida era mayor en el caso del brazo, se debe a que en este caso estamos normalizando los datos con la radiación exterior. Además, se observa como se bloquea totalmente la radiación recibida en el resto de posiciones de la zona del conductor. Los porcentajes anteriores se incrementan considerablemente en el caso que las ventanillas estén completamente abiertas, tomando los cocientes de exposición mencionados un valor de un **48%** para la posición lateral (LC) y un **82%** para el brazo izquierdo del conductor (BC), que observamos que se sitúa como la posición con mayor cociente de exposición.

Esta diferencia entre la situación con las ventanillas abiertas y cerradas, se ve claramente al estudiar el **cociente ventanillas cerradas / ventanillas abiertas**, que muestra como los cristales en este caso se muestran más efectivos al frenar la radiación incidente sobre el **brazo izquierdo (BC)** al que llega con las ventanillas cerradas un **27%** de la radiación recibida con las ventanillas abiertas, que al frenar la radiación incidente sobre la posición **lateral (LC)**, que recibe con las ventanillas cerradas un porcentaje de un **38%** de la radiación que recibiría con las ventanillas abiertas.

Por otro lado, se observa como en las posiciones con orientación más alejadas del sol y con más barreras físicas que bloqueen la radiación incidente, (horizontal (HC) y vertical hacia delante (VC)) se reciben nulas o muy pequeñas cantidades de radiación, que alcanzan un valor máximo de un **4%** con las ventanillas abiertas respecto a la radiación que se recibe al exterior del vehículo.

b) Pasajero.

En la tabla 7.26 se muestran los valores de estos índices para el caso del pasajero

Tabla 7.26.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del pasajero en la época de mayo-junio.

Posición del dosímetro	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_{VA}}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_{VC}}$
HP	0,03	0,01	2,38	0,42
LP	0,00	0,04	0,00	∞
VP	0,05	0,05	0,56	1,77
BP	0,06	0,75	0,08	11,29

En las figuras 7.28 a 7.31, se han representado gráficamente dichos índices.

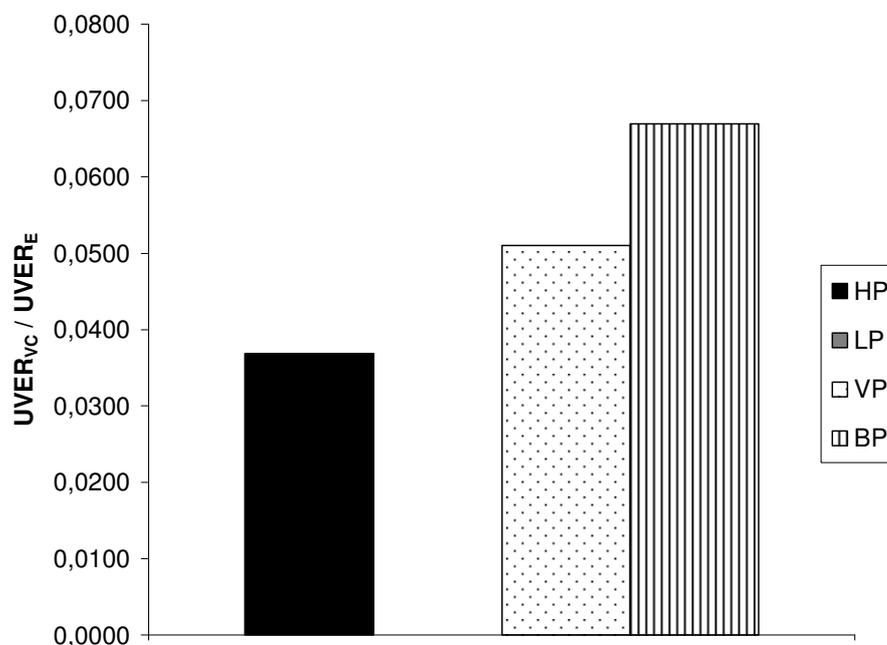


Figura 7.28.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el pasajero en la época de mayo-junio.

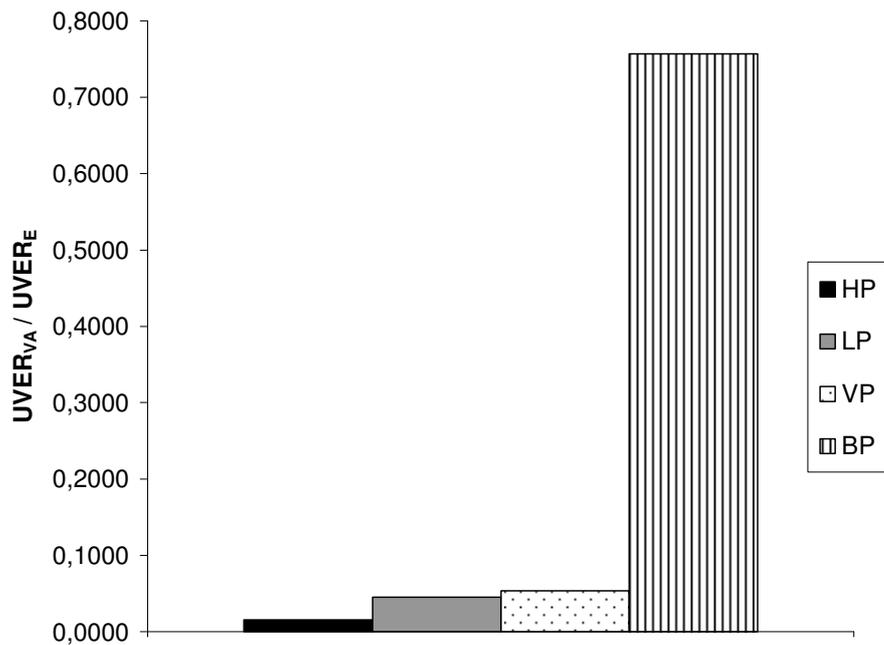


Figura 7.29.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el pasajero en la época de mayo-junio.

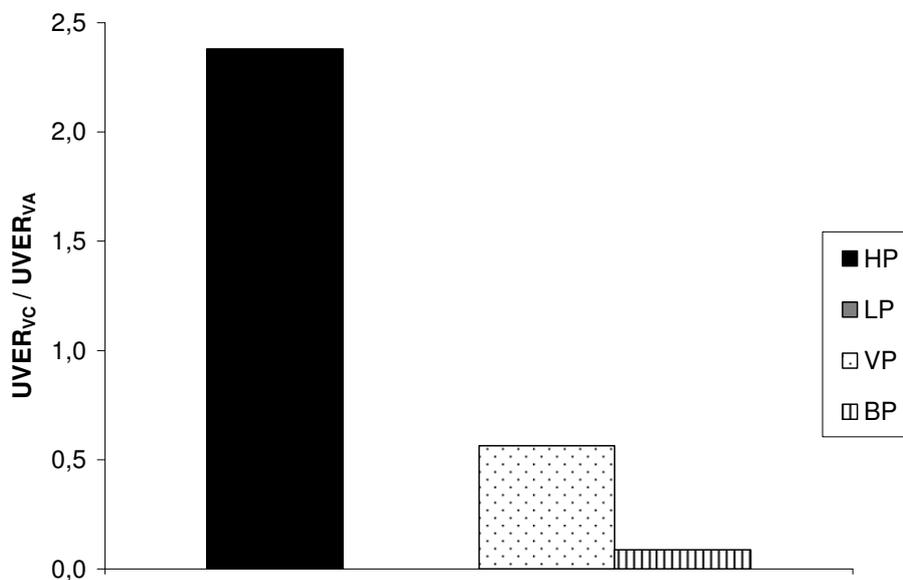


Figura 7.30.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el pasajero en la época de mayo-junio.

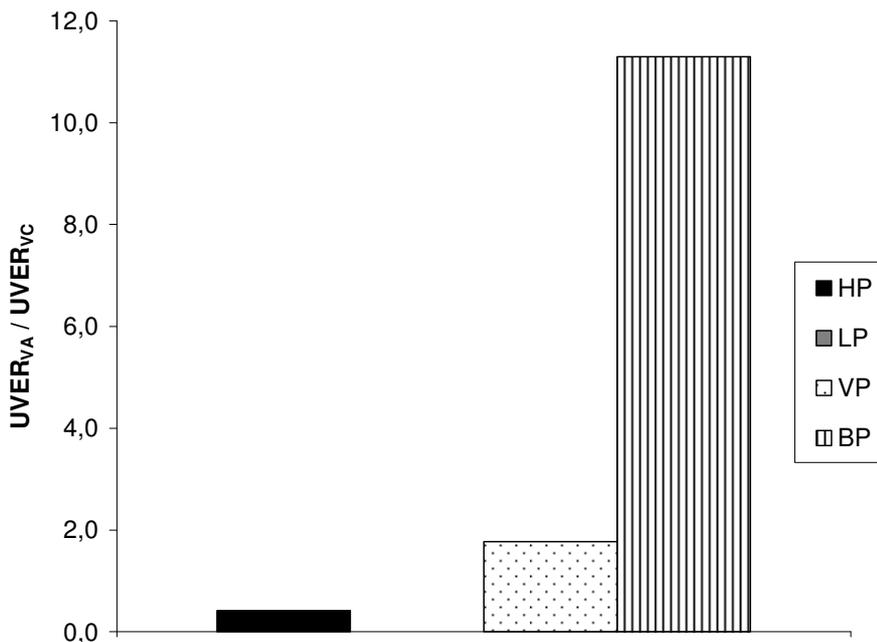


Figura 7.31.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el pasajero en la época de mayo-junio.

En el caso del **pasajero**, se observa en general que los cocientes de exposición en las posiciones objeto de estudio son pequeños, sin embargo también hay posiciones más afectadas que otras.

En este caso, se da la circunstancia de que, tanto para los cocientes de las ventanillas cerradas como para los propios de las ventanillas abiertas respecto al ambiente, las dos posiciones que mayor proporción de radiación reciben son el **brazo derecho del conductor (BP)** y la posición **vertical dirigida hacia delante (VP)**. Sin embargo, para el caso de las ventanillas cerradas el valor de ambos cocientes es de un **6,7%** y un **5,1%** respectivamente, pero para el caso con las ventanillas abiertas los valores de los cocientes se sitúan en **75,3%** para el caso del brazo derecho (BP) y **5,6%** para la posición lateral (LP) respecto a la radiación recibida al exterior del vehículo. Ello se debe a que, con las ventanillas cerradas, el efecto predominante en la posición del pasajero, ya de por sí alejada de la orientación favorable al Sol y con la barrera física que supone la presencia física del conductor, es la de bloqueo de la radiación que llega, de forma que las dosis recibidas en todas las posiciones son mínimas y las diferencias no son muy notables; en cambio con las ventanillas completamente abiertas, el Sol incide sin la barrera de las ventanillas y se da muy marcadamente el efecto anteriormente mencionado de la incidencia más perpendicular de los rayos sobre la posición horizontal debido a la posición del Sol en esta época del año.

Lo que sí es evidente para el caso del pasajero, al igual que sucedía con el caso del conductor, es que existe una diferencia entre tener las ventanillas completamente abiertas o completamente cerradas, de forma que una persona estando en el interior del coche, si mantiene todas las ventanillas abiertas, puede estar expuesto a dosis de radiación que con el tiempo pueden ser considerables. Por ejemplo, en el caso del brazo del pasajero, el hecho de mantener las ventanillas abiertas, puede incrementar en un factor de hasta **11,3** la cantidad de radiación UVER recibida respecto al caso en que cerrara todas las ventanillas (figura 7.31).

El valor aparentemente anómalo del cociente de exposición en la posición **horizontal (HP)** con ventanillas cerradas respecto a las ventanillas abiertas y que tiene un valor de **2,38** (figura 7.30), se debe a que realmente las cantidades de radiación recibidas en esta posición, tanto con ventanillas abiertas como cerradas, son muy pequeñas (de un **1,5** y un **3,6%** respecto al exterior respectivamente); las diferencias con dosis tan pequeñas y en esta zona del vehículo con orientación claramente desfavorable al Sol, pueden ser debidas a pequeñas reflexiones de los objetos del interior del vehículo, o de sombras que en determinados instantes de día pueden influir más en una zona que en otra y que pueden provocar el hecho, a priori extraño, de que la dosis en el caso de las ventanillas cerradas supere al caso de las ventanillas abiertas.

7.2.2.- Tiempo hasta el eritema

En primer lugar, se muestra en las tablas 7.27 a 7.29, en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de mayo-junio.

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas cerradas los resultados se muestran en la tabla 7.27.

Tabla 7.27.- Tiempo de medidas en el coche con las ventanillas cerradas en la época de mayo-junio.

Medida	Tiempo de medida
HC	19h 30min
LC	19h 30min
VC	19h 30min
BC	19h 30min
HP	19h 30min
LP	19h 30min
VP	19h 30min
BP	19h 30min

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas abiertas, los resultados se muestran en la tabla 7.28.

Tabla 7.28.- Tiempo de medidas en el coche con las ventanillas cerradas en la época de mayo-junio.

Medida	Tiempo de medida
HC	20h 4min
LC	20h 4min
VC	20h 4min
BC	20h 4min
HP	20h 4min
LP	20h 4min
VP	20h 4min
BP	20h 4min

Para el caso de medidas al exterior, los resultados se muestran en la tabla 7.29.

Tabla 7.29.- Tiempo de medidas al exterior en la época de mayo-junio.

Medida	Tiempo de medida
HS	19h 30min
VS	19h 30min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

En las tablas 7.30, 7.31 y 7.32 se muestra el tiempo hasta que se produce el eritema en el período de mayo-junio para diferentes posiciones del dosímetro en el sitio del conductor y del pasajero y para tres casos:

- d) ventanillas cerradas
- e) ventanillas abiertas
- f) medidas ambientes (en el exterior del coche)

- a) Caso ventanillas cerradas.

Los resultados se muestran en la tabla 7.30.

Tabla 7.30.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas cerradas para la época de mayo-junio.

Posición dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HC	∞	∞	∞	∞	∞	∞
LC	3h 2min	3h 48min	5h 19min	6h 50min	8h 21min	9h 52min
VC	∞	∞	∞	∞	∞	∞
BC	2h 24min	3h	4h 11min	5h 23min	6h 35min	7h 47min
HP	14h 30min	18h 7min	25h 22min	32h 37min	39h 52min	47h 7min
LP	∞	∞	∞	∞	∞	∞
VP	18h 8min	22h 40min	31h 44min	40h 48min	49h 52min	58h 57min
BP	7h 58min	9h 58min	13h 57min	17h 56min	21h 55min	25h 55min

- b) Caso ventanillas abiertas.

Los resultados se muestran en la tabla 7.31.

Tabla 7.31.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas abiertas para la época de mayo-junio.

Posición dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HC	12h 54min	16h 8min	22h 36min	29h 3min	35h 30min	41h 58min
LC	1h 10min	1h 28min	2h 3min	2h 39min	3h 14min	3h 49min
VC	14h 55min	18h 39min	26h 7min	33h 35min	41h 3min	48h 31min
BC	40min	50min	1h 10min	1h 30min	1h 50min	2h 10min
HP	35h 32min	44h 25min	62h 11min	79h 57min	97h 43min	115h 30min
LP	12h 25min	15h 32min	21h 45min	27h 58min	34h 11min	40h 24min
VP	10h 32min	13h 10min	18h 27min	23h 43min	28h 59min	34h 15min
BP	43min	54min	1h 16min	1h 38min	2h	2h 21min

c) Caso al exterior del coche.

Los resultados se muestran en la tabla 7.32

Tabla 7.32.- Tiempo hasta el eritema en el caso de medidas al exterior del coche para la época de mayo-junio.

Posición dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HS	31min	40min	55min	1h 12min	1h 28min	1h 44min
VS	55min	1h 9min	1h 37min	2h 4min	2h 32min	3h

Se puede observar a partir de los valores de las tablas 7.30 a 7.32, que en esta época del año, en la que empieza a ser más frecuente en esta latitud el realizar un desplazamiento con las ventanillas abiertas, hay zonas como los brazos tanto del conductor como del pasajero, que pueden verse afectados por un eritema en un período de tiempo no muy grande y casi para cualquier fototipo de piel.

7.3.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VENTANILLAS DE LOS VEHÍCULOS SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE JULIO-SEPTIEMBRE

7.3.1.- Dosis de radiación UVER recibida

En la ubicación en que se realizó el estudio, es en esta época del año cuando mayor cantidad de días despejados hay de todo el año con gran diferencia. Ello obligó a reducir el número de días de medida para que no existiera una descompensación muy grande con el resto de épocas del año.

Por otra parte, hay que resaltar el hecho de que no se pudieron obtener medidas del mes de agosto debido a que en este período el Instituto de Tecnología Eléctrica se encontraba cerrado por vacaciones.

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, han sido los que se muestran en la tabla 7.33. Se ha incluido el día 1 y 6 de octubre en esta campaña de medidas debido a que los dosímetros con que se midieron durante esos días, fueron enviados al laboratorio de VioSpor en Alemania conjuntamente con los dosímetros utilizados en julio y septiembre. Las diferencias de las condiciones climáticas entre el 1 y 6 de octubre y el resto días de esta campaña no son apreciables, como se muestra en la tabla 7.33, por lo que se ha considerado que el incluirlos en esta época del año no afecta a los resultados obtenidos.

Tabla 7.33.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para el caso de coches en la época de julio-septiembre.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
julio	2*	9:40	15:00	28,09	61,33	2,69	651,62	309	33,18	80,50	3
	17**	9:40	15:00	28,49	61,78	4,28	781,80		34,50	78,75	1
	24*	9:40	14:50	33,62	27,33	3,53	773,61		35,50	77,50	1
	29**	9:40	14:45	30,07	49,43	2,50	748,85	293	36,35	76,44	1
septiembre	16*	9:20	15:00	20,55	54,68	2,71	555,47	320	49,85	60,89	2
	21**	9:30	15:10	22,44	43,58	2,26	621,97	334	51,55	59,04	1
	22*	10:30	15:00	23,91	47,15	2,90	477,21	317	51,90	58,68	3
	25**	10:30	15:00	25,00	44,12	2,78	589,32	304	52,92	57,57	1
octubre	1*	9:30	16:20	23,67	57,39	2,13	524,84	302	54,98	55,39	2
	6**	9:30	16:20	24,52	55,69	1,84	516,59	277	56,67	53,61	1

* días en que se midió con las ventanillas completamente cerradas

** días en que se midió con las ventanillas completamente abiertas

Las variables de la tabla 7.33 se han explicado en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta tercera campaña de medidas del año fueron en total **44**.

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas cerradas, en la tabla 7.34 se muestra para cada posición del dosímetro explicada en el apartado 4.2.3, los días de media.

Tabla 7.34.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas cerradas para la época de julio-septiembre.

Posición	Días de medida
HC	2/7, 24/7, 16/9, 22/9, 1/10
LC	2/7, 24/7, 16/9, 22/9, 1/10
VC	2/7, 24/7, 16/9, 22/9, 1/10
BC	2/7, 24/7, 16/9, 22/9, 1/10
HP	2/7, 24/7, 16/9, 22/9, 1/10
LP	2/7, 24/7, 16/9, 22/9, 1/10
VP	2/7, 24/7, 16/9, 22/9, 1/10
BP	2/7, 24/7, 16/9, 22/9, 1/10

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas abiertas, en la tabla 7.35 se muestra para cada posición del dosímetro, los días de media.

Tabla 7.35.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas abiertas para la época de julio-septiembre.

Posición	Días de medida
HC	17/7, 29/7, 21/9, 25/9, 6/10
LC	17/7, 29/7, 21/9, 25/9, 6/10
VC	17/7, 29/7, 21/9, 25/9, 6/10
BC	17/7, 29/7, 21/9, 25/9, 6/10
HP	17/7, 29/7, 21/9, 25/9, 6/10
LP	17/7, 29/7, 21/9, 25/9, 6/10
VP	17/7, 29/7, 21/9, 25/9, 6/10
BP	17/7, 29/7, 21/9, 25/9, 6/10

Para los dosímetros situados en al exterior del coche, en la tabla 7.36 se muestra para cada posición del dosímetro, los días de media.

Tabla 7.36.- Días de medida para cada posición en el caso de exterior del coche para la época de julio-septiembre.

Posición	Días de medida
HS	2/7, 17/7, 24/7, 29/7, 16/9, 21/9, 22/9, 25/9, 1/10, 6/10
VS	2/7, 17/7, 24/7, 29/7, 16/9, 21/9, 22/9, 25/9, 1/10, 6/10

Se emplearon más dosímetros que en otras ocasiones para prevenir una posible saturación de los mismos, ya que en esta época del año, la radiación recibida es muy elevada y se consideró que esta posición al exterior del vehículo podía resultar crítica en cuanto a dosis recibida.

En primer lugar, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto con el coche con la ventanillas cerradas, como con las ventanillas abiertas y en cada una de las posiciones.

Para obtener los valores de la tabla 7.37, 7.38, 7.39 y 7.40, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en sumar los registros de irradiación UVER de cada uno de los dosímetros empleados y para cada posición objeto de estudio, al final de la campaña de medidas.

Tabla 7.37.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están cerradas para la época de julio-septiembre.

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
HC	143
LC	1966
VC	1347
BC	2510
HP	1442
LP	1746
VP	1055
BP	1426

Tabla 7.38.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están abiertas para la época de julio-septiembre.

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
HC	1712
LC	6330
VC	2739
BC	7471
HP	1443
LP	2071
VP	914
BP	4838

Tabla 7.39.- Valores absolutos de UVER a pleno sol en día de medida de coche con ventanillas cerradas la época de julio-septiembre.

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
HS	9276
VS	6054

Tabla 7.40.- Valores absolutos de UVER a pleno sol en día de medida de coche con ventanillas abiertas la época de julio-septiembre.

Posición del dosímetro	UVER (J/m^2)
HS	12282
VS	9673

En la figura 7.32 se representan dichos valores, tanto para el caso del coche con las ventanillas completamente cerradas como para el caso del coche con las ventanillas completamente abiertas.

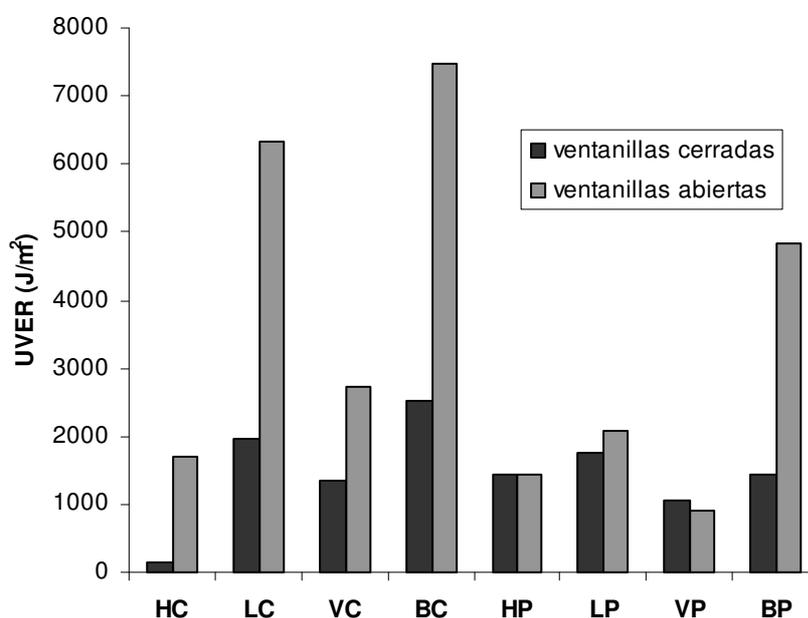


Figura 7.32.- Dosis UVER en distintas posiciones en la época de julio-septiembre.

Debido a que existen importantes diferencias entre la dosis recibida con las ventanillas completamente cerradas y con las ventanillas completamente abiertas, se han representado estos dos casos por separado en las figuras 7.33 y 7.34.

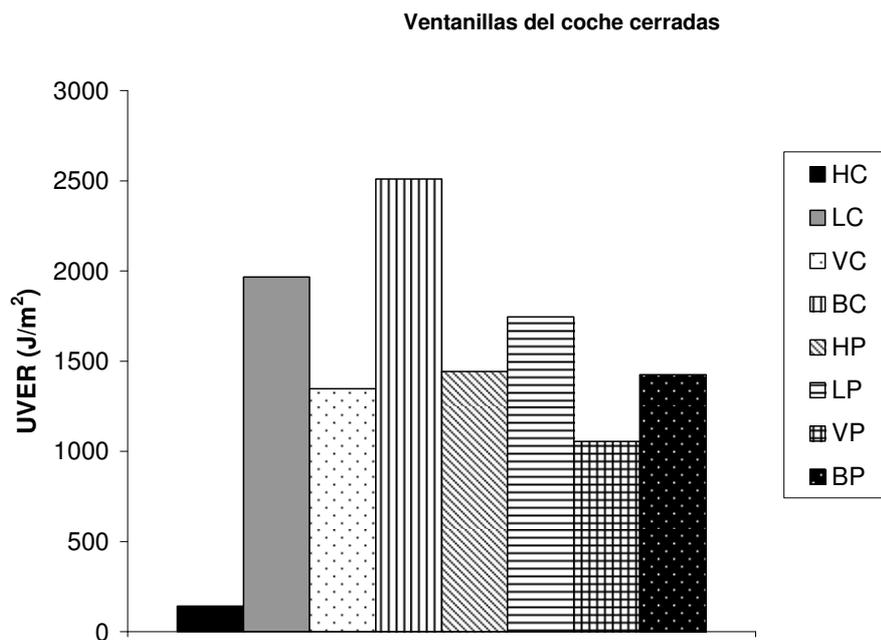


Figura 7.33.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas cerradas en la época de julio-septiembre.

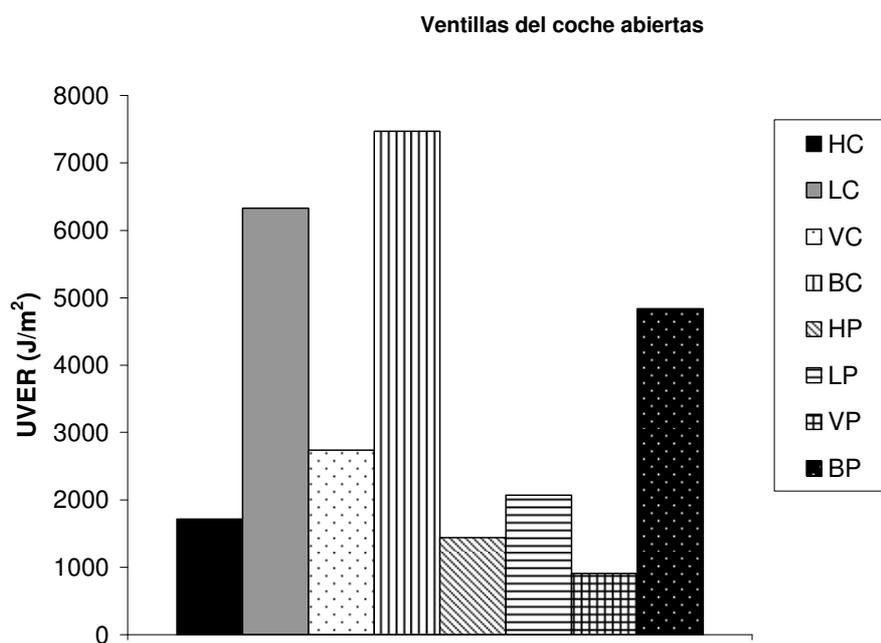


Figura 7.34.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas abiertas en la época de julio-septiembre.

En la figura 7.32, se aprecia, de manera general, que la dosis UVER recibida por una persona en el interior de un vehículo con las ventanillas abiertas es sensiblemente superior al mismo caso pero con las ventanillas completamente cerradas. Sin embargo, a

esto hay que añadir el hecho de que, para todas las posiciones del interior del vehículo, existe un incremento respecto a otras épocas de la dosis recibida, incluso con las ventanillas cerradas, debido a que son los meses del año en que más intensa es la radiación solar UVER que llega a la superficie. Ello obliga a tener en cuenta medidas adicionales de protección, sobretodo para los casos de desplazamientos con las ventanillas del vehículo abiertas, lo cual suele ser bastante habitual en esta época del año.

Como se ha comentado anteriormente, dentro de un vehículo existen muchas variables que pueden influir en la dosis recibida, como pueden ser la orientación, las sombras que se producen en el interior del coche, las reflexiones que se producen por la presencia de objetos en el interior, el bloqueo que producen los cristales y el techo del vehículo, etc.

Es por ello que se pueden apreciar diferencias notables entre unas zonas y otras del vehículo. Sin embargo, se puede observar que, de nuevo, tanto en el caso de las ventanillas abiertas como con las ventanillas cerradas, las dos zonas que más radiación reciben son, el **brazo izquierdo del conductor (BC)**, seguido de la posición **lateral del conductor orientado hacia la ventanilla (LC)** y apreciamos como, al igual que sucedía en la época de mayo y junio, la dosis recibida en el **brazo derecho del pasajero (BP)** aparece como una zona a tener en cuenta respecto a la dosis recibida. Ello se debe a que en esta época del año, el Sol alcanza ángulos cenitales menores en el año (concretamente un valor promedio para los días de medida de 45,74°) y por tanto incide de manera más perpendicular sobre los dosímetros colocados en posición horizontal, que no tienen el techo del vehículo como obstáculo (brazo de conductor y pasajero), superando incluso a la posición lateral hacia la ventanilla en el caso de las ventanillas abiertas, posición que, en esta época del año, recibe los rayos del Sol de manera más oblicua.

La posición del Sol y el ángulo con que incide en el interior del vehículo, hace que la radiación recibida, por ejemplo, en el caso de la posición **horizontal del conductor (HC)** con las ventanillas cerradas sea notablemente inferior al resto de posiciones del vehículo. Eso sucede también en el caso del coche con las ventanillas abiertas y para las posiciones para las que el hecho de que el Sol esté más alto implica un efecto adicional de bloqueo de la radiación por parte del techo del vehículo; concretamente para la posición **horizontal del pasajero (HP)**, **vertical hacia delante del pasajero (VP)** y **horizontal del conductor (HC)**.

A continuación se representan en las figuras 7.35 y 7.36, los valores de dosis UVER para el conductor (figura 7.35) y el pasajero (figura 7.36) separadamente.

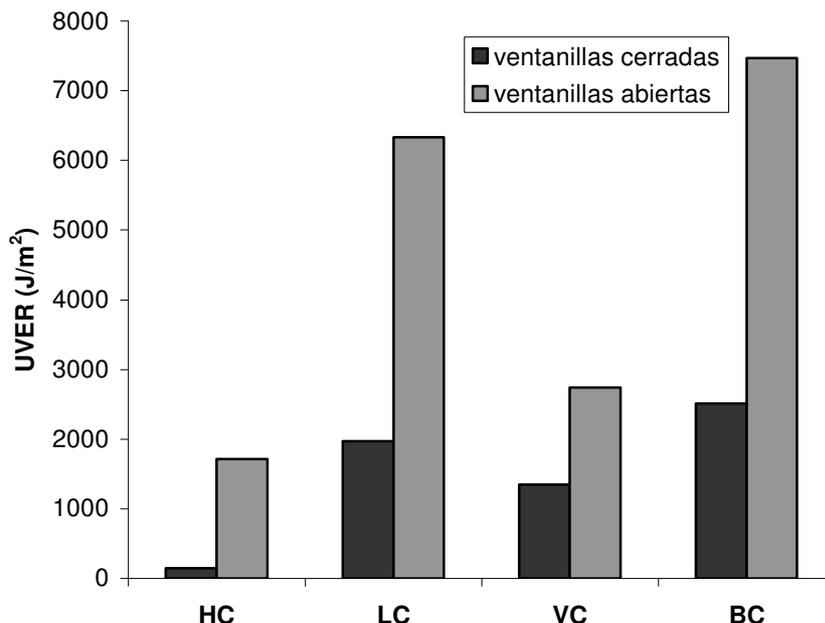


Figura 7.35.- UVER para el caso del conductor en la época de julio-septiembre.

Centrándonos en la zona ocupada por el **conductor** del vehículo y a la vista de los resultados mostrados en la figura 7.35, podemos concluir que las posiciones más afectadas por la radiación UVER son la posición **horizontal que ocupa el brazo izquierdo (BC)** del conductor en el caso en que se apoye en la base de la ventana y la posición de la cabeza en **lateral con orientación hacia la ventanilla (LC)**.

En la posición **lateral del conductor (LC)**, con las ventanillas cerradas se recibe un **31,53%** de la radiación que se recibe en el caso en que las ventanillas estén abiertas y en el caso del **brazo del conductor (BC)** se recibe un **33,59%** de la radiación que recibe con las ventanillas abiertas. Estos valores muestran el efecto filtro que conlleva la presencia de las ventanillas de los coches.

La posición en que menos radiación se recibe es la **vertical en dirección al parabrisas (VC) con las ventanillas cerradas y la horizontal en la parte superior de la cabeza (HC) con las ventanillas cerradas**. De las dos, la horizontal (HC) es la menos afectada, recibiendo un **10,6%** de la dosis que se recibe en la posición vertical hacia el parabrisas (VC). En estas posiciones, se suman los efectos de la orientación no favorable hacia el Sol, el efecto de la ventanilla lateral como filtro de la radiación, el efecto del vidrio del parabrisas y sobretodo el efecto del techo que bloquea la mayor parte de la radiación incidente debido a la posición relativa del Sol, que tiene un ángulo cenital pequeño.

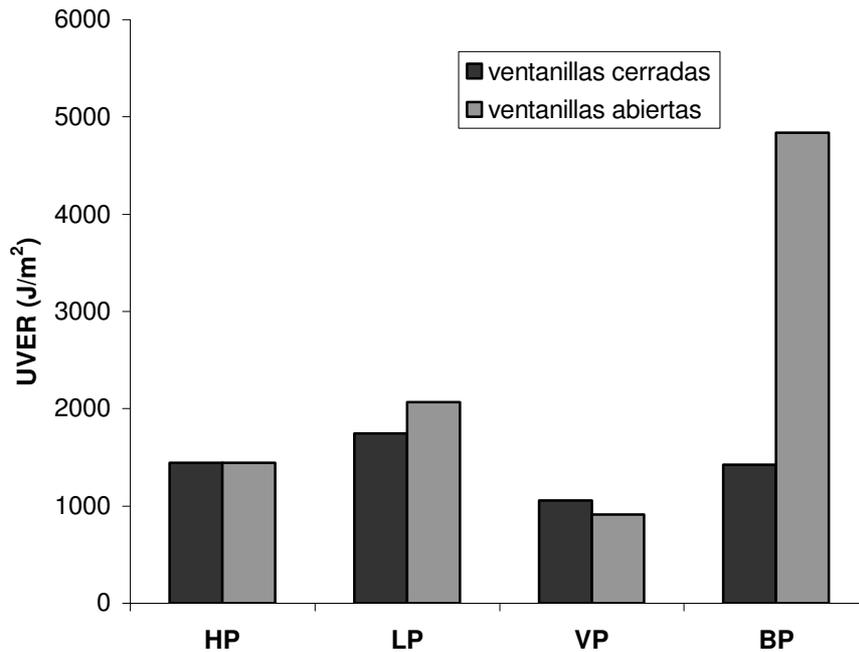


Figura 7.36.- UVER para el caso del pasajero en la época de julio-septiembre

Para el caso particular de la zona que está ocupada por el **pasajero** dentro del vehículo, se puede observar en la figura 7.36, que también la zona con mayor dosis UVER recibida es claramente la del **brazo derecho del pasajero (BP)** apoyado en la base de la ventanilla y con las ventanillas abiertas. La diferencia con la siguiente posición con más dosis recibida que es el mismo brazo pero con las ventanillas cerradas es de un **42%**.

La posición en que menos radiación se recibe es la **vertical orientada hacia el parabrisas (VP)**, tanto en el caso de las ventanillas abiertas como con las ventanillas cerradas, debido a que se suman en esta posición los efectos de alejamiento de la orientación hacia el Sol, el efecto de filtro del vidrio del parabrisas y del resto de vidrios (caso en que todas las ventanillas estén cerradas) y por último el efecto de bloqueo que supone el techo del vehículo sobre la radiación incidente.

Todas estas conclusiones se pueden cuantificar y clarificar con el estudio de los siguientes cocientes de exposición:

- UVER con ventanilla cerrada / UVER al exterior $\equiv UVER_{VC} / UVER_E$
- UVER con ventanilla abierta / UVER al exterior $\equiv UVER_{VA} / UVER_E$
- UVER con ventanilla cerrada / UVER con ventanilla abierta $\equiv UVER_{VC} / UVER_{VA}$
- UVER con ventanilla abierta / UVER con ventanilla cerrada $\equiv UVER_{VA} / UVER_{VC}$

Estos cocientes se han analizado para cada una de las posiciones del conductor y del pasajero.

a) Conductor.

En la tabla 7.41 se muestran los valores de los índices para el caso del conductor.

Tabla 7.41.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del conductor en la época de julio-septiembre.

Posición del dosímetro	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_{VA}}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_{VC}}$
HC	0,02	0,14	0,08	11,97
LC	0,32	0,65	0,31	3,22
VC	0,22	0,28	0,49	2,03
BC	0,27	0,61	0,34	2,98

En las figuras 7.37 a 7.40 se observa la representación gráfica de dichos valores.

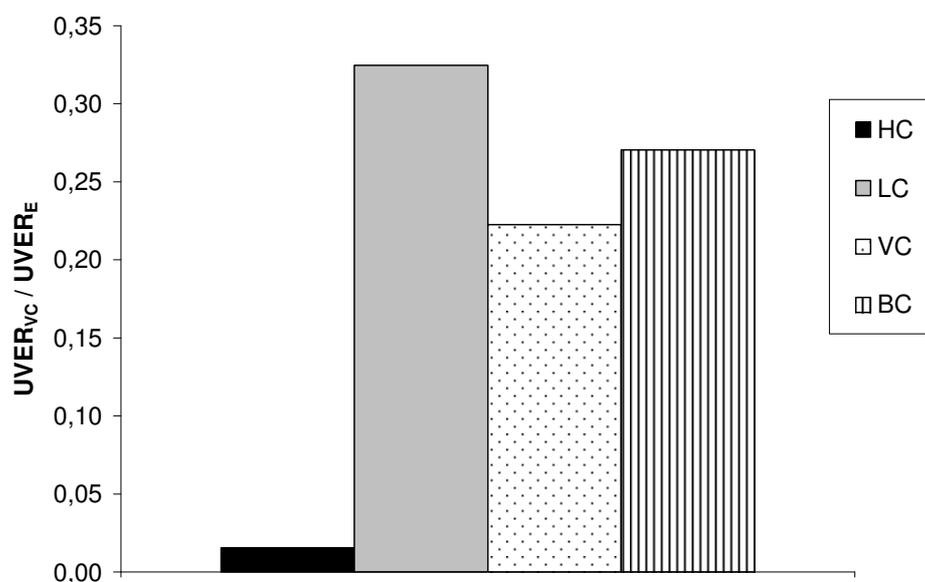


Figura 7.37.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el conductor en la época de julio-septiembre.

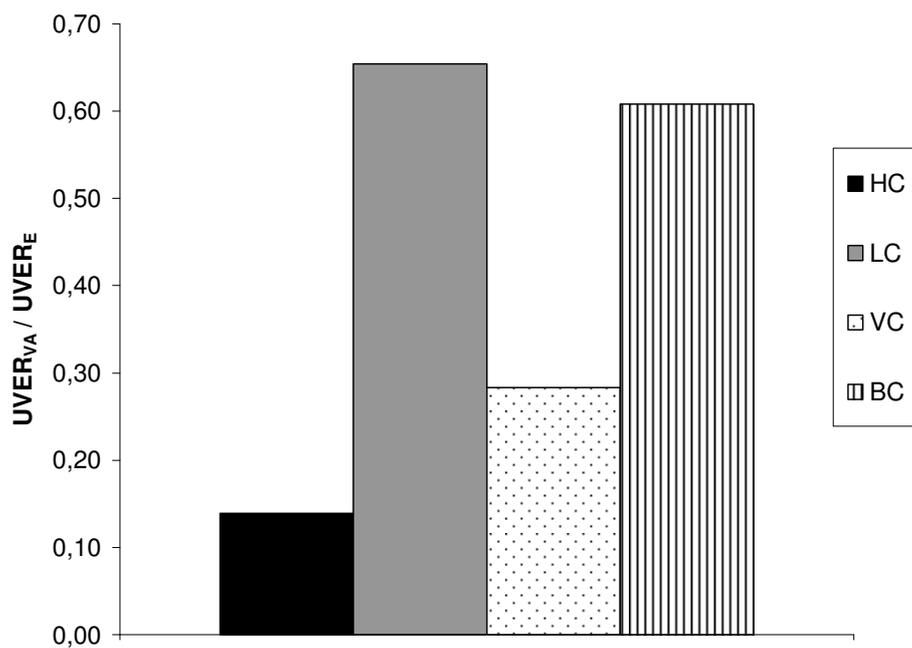


Figura 7.38.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el conductor en la época de julio-septiembre.

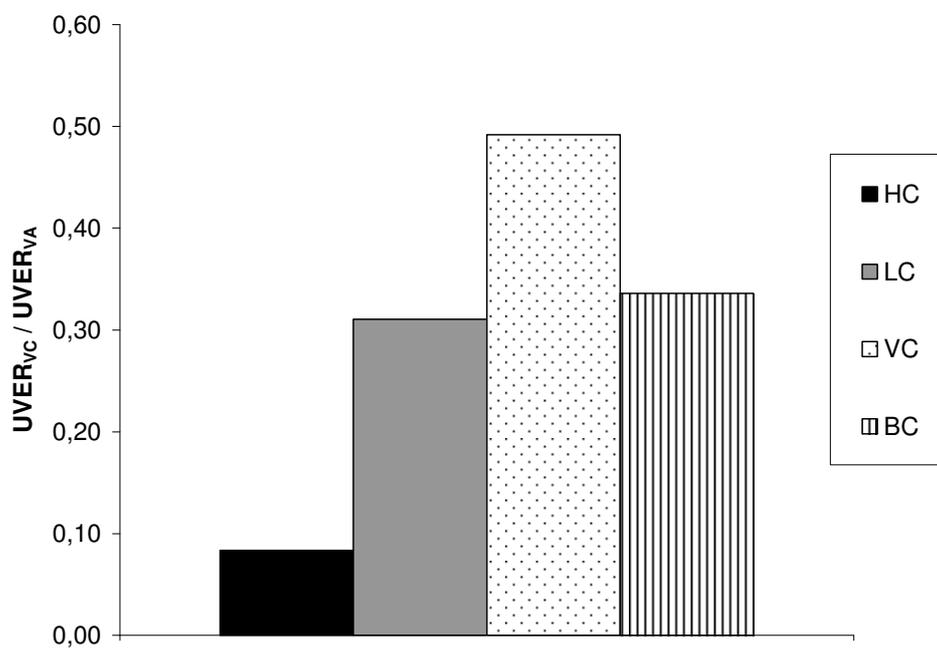


Figura 7.39.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el conductor en la época de julio-septiembre.

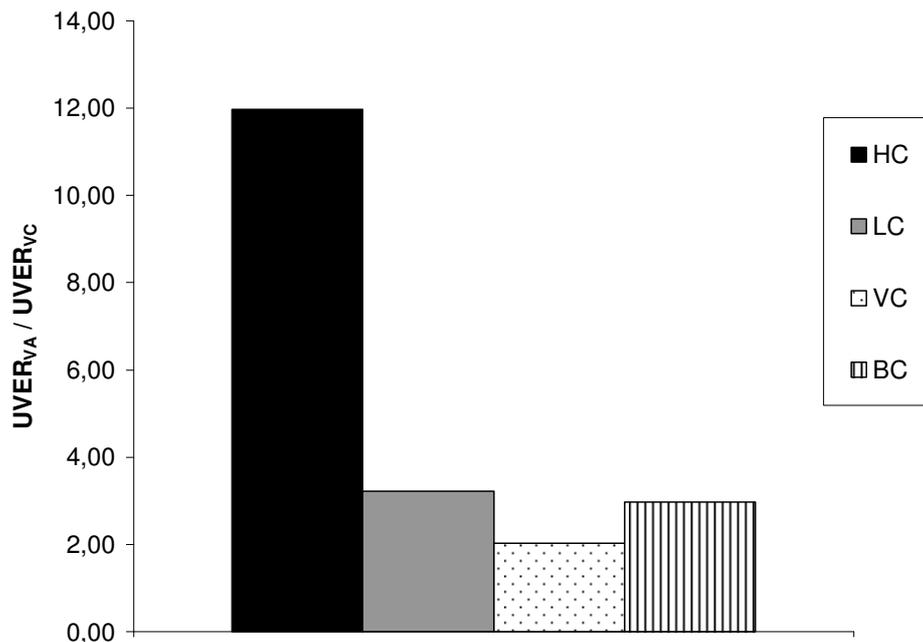


Figura 7.40.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el conductor en la época de julio-septiembre.

Del análisis proporcionado por los valores obtenidos en la tabla 7.41 y representados en las figuras 7.37 a 7.40, podemos cuantificar los efectos que se comentaban en párrafos anteriores de este mismo apartado. En general se aprecia como, incluso para el caso con ventanillas cerradas, y a excepción de la posición horizontal del conductor, el resto de posiciones del conductor reciben una proporción de radiación respecto a la ambiente que va desde un **22%** en el caso de la posición vertical hacia el parabrisas (VC) hasta un **32%** en el caso lateral frente a la ventanilla (LC). Es decir, que salvo la parte alta de la cabeza del conductor, el resto de zonas del mismo, se hayan expuestas a una dosis, incluso con las ventanillas cerradas, que a lo largo de un viaje puede ser considerable.

Los porcentajes anteriores se incrementan considerablemente en el caso que las ventanillas estén completamente abiertas, tomando el cociente de exposición $UVER_{VA} / UVER_E$ un valor de un **65%** para la posición lateral (LC) y un **61%** para el brazo izquierdo del conductor (BC), cosa que no sucede en la posición vertical dirigida hacia delante (VC), que prácticamente se encuentra con el mismo valor de cociente de exposición que en el caso con las ventanillas cerradas respecto al exterior. Ello puede ser debido a que, para esta posición VC, el efecto que más contribuye a la radiación recibida es la orientación respecto al Sol. Como en esta época, el Sol está más alto e incide de manera muy oblicua, la mayor parte de la radiación recibida en esta posición entra a través del vidrio del parabrisas y por tanto es independiente de si la ventanilla lateral está abierta o cerrada.

El hecho de que en posición horizontal (HC) con las ventanillas cerradas casi toda la radiación esté bloqueada, es lo que provoca que la proporción entre la dosis recibida con ventanillas abiertas y ventanillas cerradas para esta posición se eleve hasta

un factor de casi **12**. No obstante, hay que tener en cuenta que el valor absoluto de la radiación recibida en esta zona sigue siendo bajo.

En cambio es importante resaltar el hecho de que el cociente de exposición $UVER_{VA} / UVER_{VC}$ para otras posiciones como lateral frente a la ventanilla (LC) y el brazo del conductor (BC) pueden alcanzar un factor de **3,22** y **2,98** respectivamente.

b) Pasajero.

En la tabla 7.42 se muestran los valores de estos índices para el caso del pasajero.

Tabla 7.42.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del pasajero en la época de julio-septiembre.

Posición del dosímetro	$UVER_{VC} / UVER_E$	$UVER_{VA} / UVER_E$	$UVER_{VC} / UVER_{VA}$	$UVER_{VA} / UVER_{VC}$
HP	0,15	0,12	0,99	1,00
LP	0,29	0,21	0,84	1,18
VP	0,17	0,09	1,15	0,86
BP	0,15	0,39	0,29	3,39

En las figuras 7.41 a 7.44, se han representado gráficamente dichos índices.

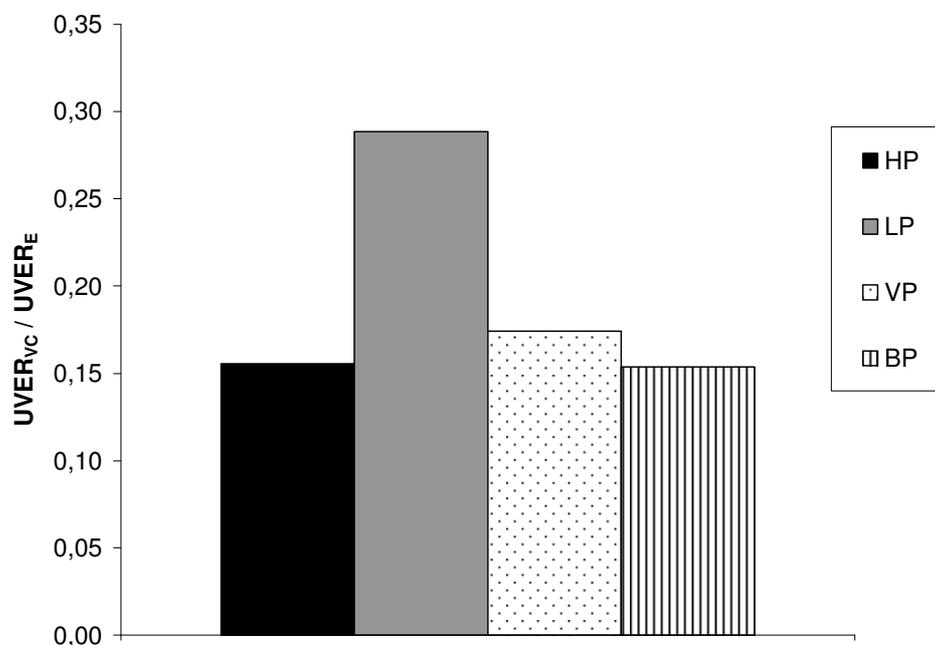


Figura 7.41.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el pasajero en la época de julio-septiembre.

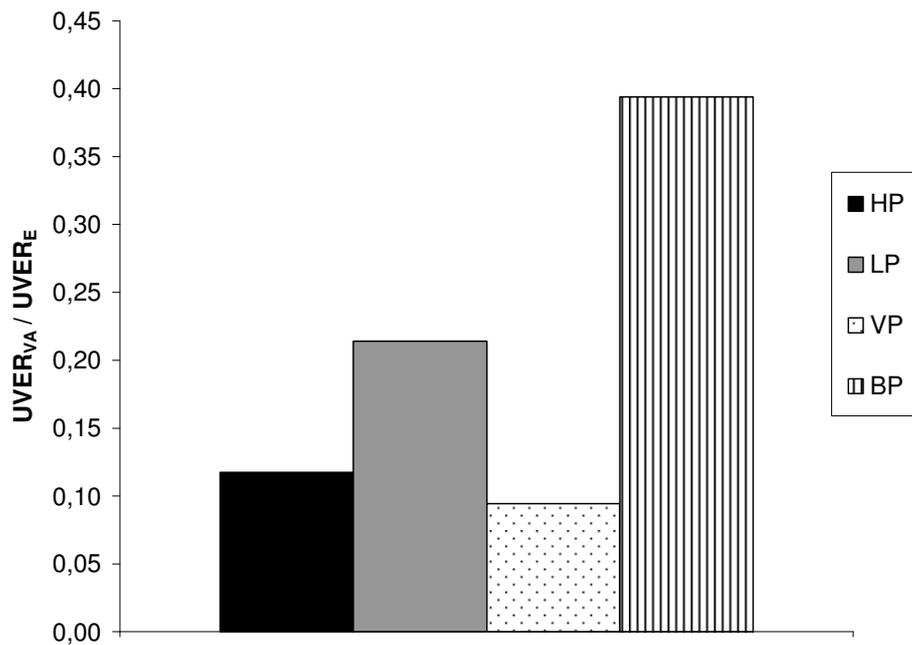


Figura 7.42.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el pasajero en la época de julio-septiembre.

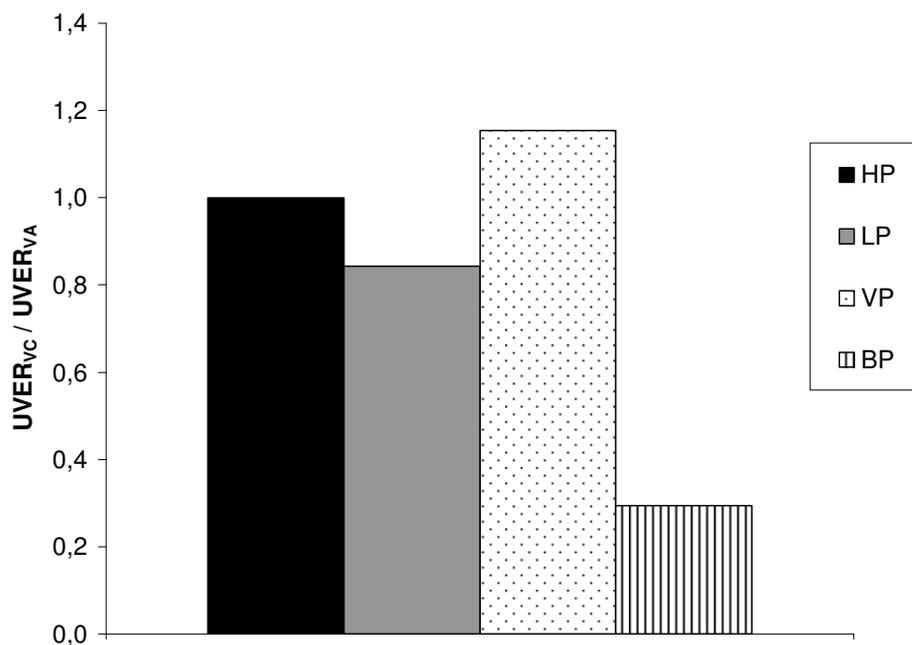


Figura 7.43.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el pasajero en la época de julio-septiembre.

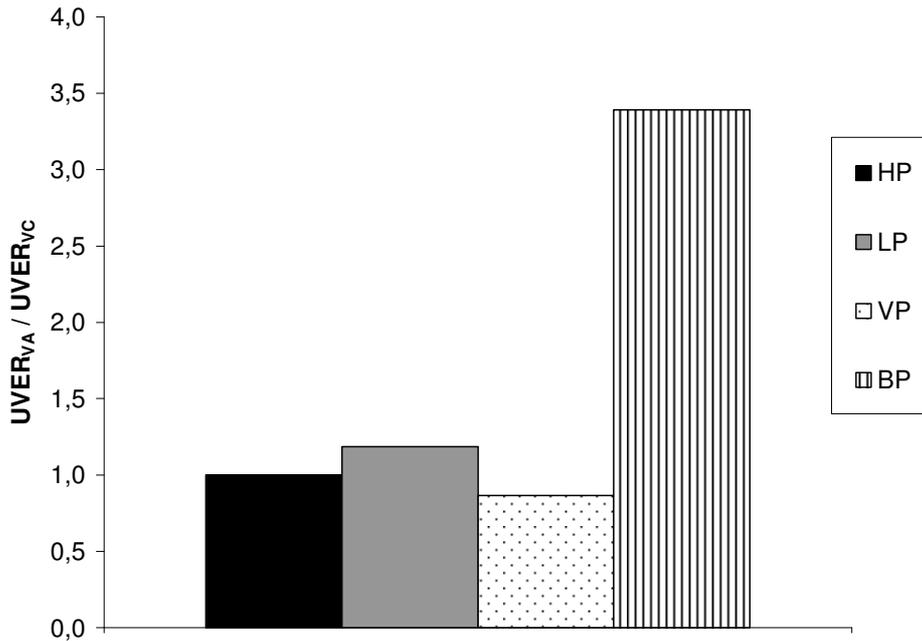


Figura 7.44.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el pasajero en la época de julio-septiembre.

En el caso del **pasajero**, se observa, en general, que los cocientes de exposición en las posiciones objeto de estudio son más pequeños, sin embargo alcanzan valores mayores que en otras épocas del año.

En este caso, pese a observarse que las posiciones más críticas en cuanto a radiación recibida son el **brazo derecho del pasajero (BP)** y la posición **lateral frente a la ventanilla del conductor (LP)**, con un cociente de un **39%** y un **21%** respectivamente de la radiación recibida con ventanillas abiertas respecto al exterior y un cociente de un **15%** y un **28%** respectivamente en el caso de ventanillas cerradas respecto al exterior, sin embargo el efecto del cierre total de las ventanillas del vehículo tiene es muy limitado en cuanto a las dosis recibidas en la zona del pasajero. De hecho, el cociente $UVER_{VA} / UVER_{VC}$ solo supera con cierto margen el valor de la unidad, para el caso del **brazo derecho del pasajero (BP)**, que aumenta en un factor de **3,39** si las ventanillas están abiertas en comparación con si están cerradas.

El motivo puede ser que, con la posición del Sol con un ángulo cenital pequeño, la mayoría de zonas del interior del vehículo se ven afectadas principalmente por el efecto de bloqueo que provoca el techo del vehículo, estén las ventanillas abiertas o cerradas. Solo la posición horizontal del brazo derecho del pasajero (BP) es la que, por encontrarse más hacia el exterior del vehículo, está menos afectada por el techo, y por tanto, se muestra más sensible al efecto de tener las ventanillas cerradas o completamente abiertas.

7.3.2.- Tiempo hasta el eritema

En primer lugar, se muestra en las tablas 7.43 a 7.45, en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de julio-septiembre.

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas cerradas se muestra en la tabla 7.43.

Tabla 7.43.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de julio-septiembre.

Medida	Tiempo de medida
HC	27h 29min
LC	27h 29min
VC	27h 29min
BC	27h 29min
HP	27h 29min
LP	27h 29min
VP	27h 29min
BP	27h 29min

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas abiertas, los resultados se muestran en la tabla 7.44.

Tabla 7.44.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de julio-septiembre.

Medida	Tiempo de medida
HC	27h 29min
LC	27h 29min
VC	27h 29min
BC	27h 29min
HP	27h 29min
LP	27h 29min
VP	27h 29min
BP	27h 29min

Para el caso de medidas al exterior, los resultados se muestran en la tabla 7.45.

Tabla 7.45.- Tiempo de medidas al exterior en la época de julio-septiembre.

Medida	Tiempo de medida
HS	27h 29min
VS	27h 29min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

En las tablas 7.46, 7.47 y 7.48 se muestra el tiempo hasta que se produce el eritema en el período de julio-septiembre para diferentes posiciones del dosímetro en el sitio del conductor y del pasajero y para tres casos:

- a) ventanillas cerradas
- b) ventanillas abiertas
- c) medidas ambientes (en el exterior del coche)

a) Caso ventanillas cerradas.

Los resultados se muestran en la tabla 7.46.

Tabla 7.46.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas cerradas para la época de julio-septiembre.

Posición del dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HC	38h27min	48h4min	67h17min	86h30min	105h44min	124h57min
LC	2h48min	3h30min	4h54min	6h18min	7h41min	9h5min
VC	4h5min	5h6min	7h9min	9h11min	11h13min	13h16min
BC	2h11min	2h44min	3h50min	4h56min	6h1min	7h7min
HP	3h49min	4h46min	6h40min	8h35min	10h29min	12h23min
LP	3h9min	3h56min	5h31min	7h5min	8h40min	10h14min
VP	5h13min	6h31min	9h7min	11h44min	14h20min	16h56min
BP	3h51min	4h49min	6h45min	8h40min	10h36min	12h32min

b) Caso ventanillas abiertas.

Los resultados se muestran en la tabla 7.47.

Tabla 7.47.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas abiertas para la época de julio-septiembre.

Posición del dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HC	3h13min	4h1min	5h37min	7h14min	8h50min	10h26min
LC	52min	1h5min	1h31min	1h57min	2h23min	2h49min
VC	2h0min	2h31min	3h31min	4h31min	5h31min	6h31min
BC	44min	55min	1h17min	1h39min	2h1min	2h24min
HP	3h49min	4h46min	6h40min	8h34min	10h29min	12h23min
LP	2h39min	3h19min	4h39min	5h58min	7h18min	8h38min
VP	6h1min	7h31min	10h32min	13h32min	16h33min	19h33min
BP	1h8min	1h25min	1h59min	2h33min	3h8min	3h42min

d) Caso al exterior del coche.

Los resultados se muestran en la tabla 7.48.

Tabla 7.48.- Tiempo hasta el eritema en el caso de medidas al exterior del coche para la época de julio-septiembre.

Posición del dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
Horizontal	36min	44min	1h2min	1h20min	1h38min	1h56min
Vertical	54min	1h8min	1h35min	2h3min	2h30min	2h57min

Como comentarios al respecto de las tablas anteriores y a modo de ejemplo, se puede observar que las zonas del lateral del conductor hacia la ventanilla (LC) y del propio brazo del conductor (BC) pueden sufrir eritema en una persona de piel tipo I, a la vista de las tablas, en unos **52 y 44 minutos** respectivamente, y sorprendentemente, para el brazo del conductor (BC) y el mismo tipo de piel pero con las ventanillas cerradas podría producirse si el trayecto dura **2horas 11minutos**, lo que da muestra de la precaución que en esta época se debería tener en cuanto a la exposición en el interior del vehículo.

7.4.- ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VENTANILLAS DE LOS VEHÍCULOS SOBRE LA UVER DURANTE LA ÉPOCA DE OCTUBRE-NOVIEMBRE-DICIEMBRE

7.4.1.- Dosis de radiación UVER recibida

Los días en que se han efectuado medidas, siguiendo la metodología explicada en apartados precedentes, han sido los que se muestran en la tabla 7.49.

Tabla 7.49.- Días de medida y condiciones climáticas para la medida con dosímetros para el caso de coches en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Mes	Día	Hora inicio	Hora fin	T media (°C)	Hr (%)	Vvto media (m/s)	Irrad. Global (W/m ²)	Ozono (DU)	Θ _H (°)	Θ _V (°)	Cond. Cielo (okta)
octubre	21*	10:10	14:00	18,15	46,45	7,13	496,25		61,50	48,61	1
	22**	10:15	14:00	18,29	55,66	8,18	513,11	299	61,74	48,24	1
	30*	9:35	14:00	22,09	57,30	1,83	448,59		64,12	45,96	1
noviembre	2**	9:35	14:00	23,22	41,58	2,67	423,82	289	64,93	45,15	1
	9*	9:40	15:15	16,43	32,64	4,97	426,89	274	66,67	43,41	2
	10**	9:40	15:15	14,59	34,93	3,27	346,70	274	66,90	43,18	3
diciembre	1*	9:50	15:15	12,13	32,05	6,46	365,49		70,61	39,56	1
	9**	9:50	15:10	14,06	58,53	1,95	319,39	270	71,29	38,72	1

* días en que se midió con las ventanillas completamente cerradas

** días en que se midió con las ventanillas completamente abiertas

Las variables de la tabla 7.49 se han explicado en el apartado 4.2.1.

Los dosímetros empleados para realizar esta campaña de medidas fueron en total **41**.

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas cerradas, en la tabla 7.50 se muestra para cada posición del dosímetro explicada en el apartado 4.2.3, los días de media.

Tabla 7.50.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas cerradas para la época de octubre-noviembre-diciembre.

Posición	Días de medida
HC	21/10, 30/10, 9/11, 1/12
LC	21/10, 30/10, 9/11, 1/12
VC	21/10, 30/10, 9/11, 1/12
BC	21/10, 30/10, 9/11, 1/12
HP	21/10, 30/10, 9/11, 1/12
LP	21/10, 30/10, 9/11, 1/12
VP	21/10, 30/10, 9/11, 1/12
BP	21/10, 30/10, 9/11, 1/12

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas abiertas, en la tabla 7.51 se muestra para cada posición del dosímetro, los días de medida.

Tabla 7.51.- Días de medida para cada posición en el caso de ventanillas abiertas para la época de octubre-noviembre-diciembre.

Posición	Días de medida
HC	22/10, 2/11, 10/11, 9/12
LC	22/10, 2/11, 10/11, 9/12
VC	22/10, 2/11, 10/11, 9/12
BC	22/10, 2/11, 10/11, 9/12
HP	22/10, 2/11, 10/11, 9/12
LP	22/10, 2/11, 10/11, 9/12
VP	22/10, 2/11, 10/11, 9/12
BP	22/10, 2/11, 10/11, 9/12

Para los dosímetros situados al exterior del coche, en la tabla 7.52 se muestra, para cada posición del dosímetro, los días de medida.

Tabla 7.52.- Días de medida para cada posición en el caso de exterior del coche para la época de octubre-noviembre-diciembre.

Posición	Días de medida
HS	21/10, 22/10, 30/10, 2/11, 9/11, 10/11, 1/12, , 9/12
VS	21/10, 22/10, 30/10, 2/11, 9/11, 10/11, 1/12, , 9/12

En primer lugar, se analizan los valores absolutos de UVER medidos en esta época, tanto con el coche con la ventanillas cerradas como con las ventanillas abiertas y en cada una de las posiciones.

Para obtener los valores de la tabla 7.53, 7.54 y 7.55, el procedimiento que se ha seguido ha consistido en sumar los registros de irradiación UVER de cada uno de los dosímetros empleados y para cada posición objeto de estudio, al final de la campaña de medidas.

Tabla 7.53.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están cerradas para octubre-noviembre-diciembre.

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
HC	698
LC	1686
VC	1021
BC	949
HP	85
LP	757
VP	426
BP	745

Tabla 7.54.- Valores absolutos de UVER en distintas posiciones del interior del coche para el caso en que todas las ventanillas están abiertas para octubre-noviembre-diciembre.

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
HC	994
LC	2948
VC	1266
BC	2430
HP	662
LP	849
VP	902
BP	1442

Tabla 7.55.- Valores absolutos de UVER a pleno sol y en día de medida con las ventanillas cerradas para octubre-noviembre-diciembre

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
HS	3264
VS	3317

Tabla 7.56.- Valores absolutos de UVER a pleno sol y en día de medida con las ventanillas abiertas para octubre-noviembre-diciembre

Posición del dosímetro	UVER (J/m²)
HS	2740
VS	2856

En la figura 7.45 se representan dichos valores, tanto para el caso del coche con las ventanillas completamente cerradas, como para el caso del coche con las ventanillas completamente abiertas.

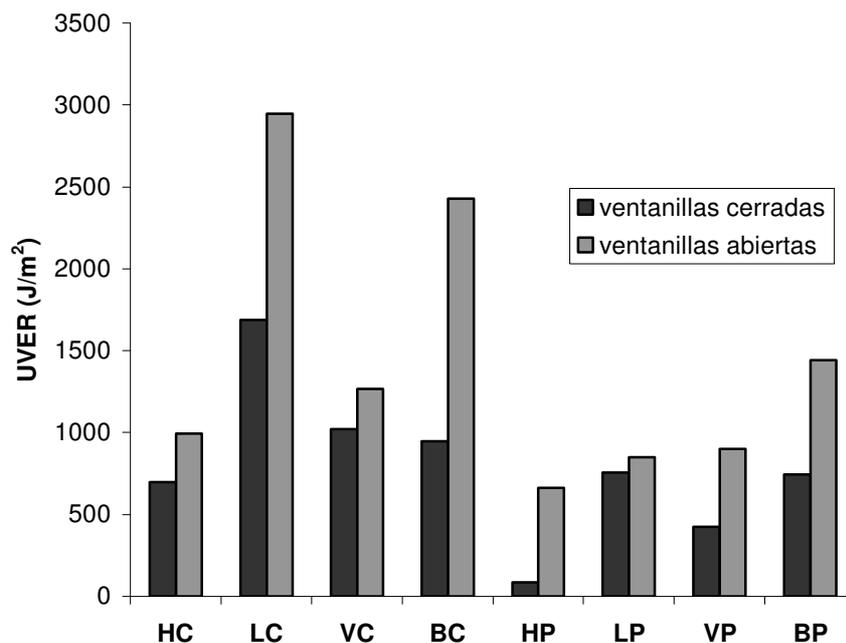


Figura 7.45.- Dosis UVER en distintas posiciones en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Debido a que existen importantes diferencias entre la dosis recibida con las ventanillas completamente cerradas y con las ventanillas completamente abiertas, se han representado estos dos casos por separado en las figuras 7.46 y 7.47.

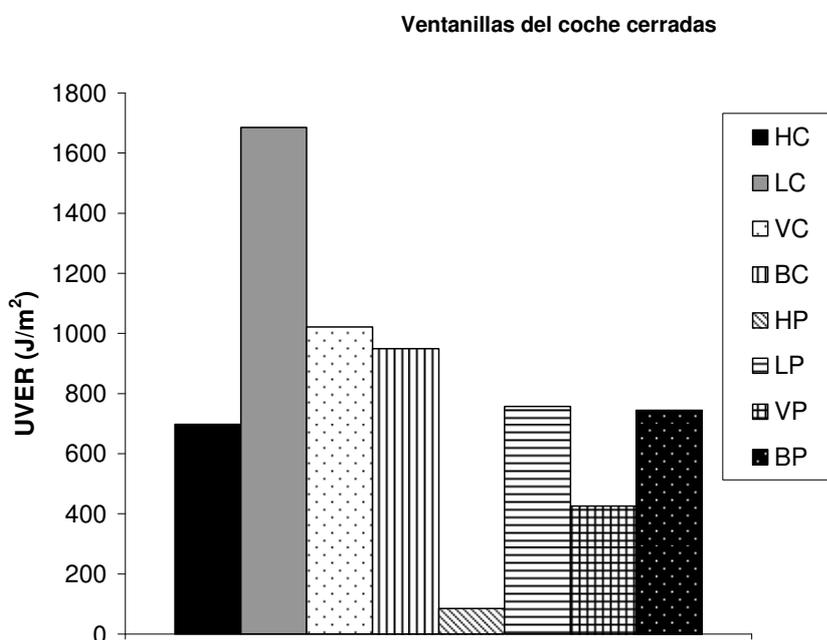


Figura 7.46.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas cerradas en la época de octubre-noviembre-diciembre.

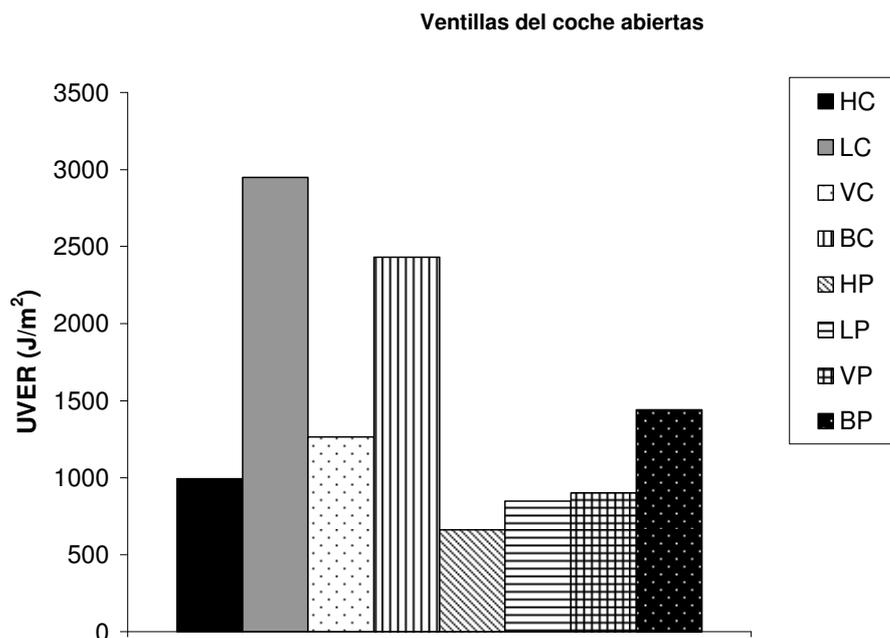


Figura 7.47.- Dosis UVER en distintas posiciones para el caso del coche con las ventanillas abiertas en la época de octubre-noviembre-diciembre

En la figura 7.45, se aprecia, de manera general, que la dosis UVER recibida por una persona en el interior de un vehículo con las ventanillas abiertas es sensiblemente superior al mismo caso pero con las ventanillas completamente cerradas en esta época del año.

En el caso de las **ventanillas abiertas**, se observa que las dos zonas que más radiación reciben son, la posición **lateral del conductor mirando hacia la ventanilla (LC)** y la posición **horizontal del brazo del conductor (BC)**. Ello es debido principalmente a que la posición lateral del conductor (LC) se sitúa orientada casi perpendicularmente a la entrada de los rayos del Sol, sobretodo en esta época del año en que el valor del ángulo cenital solar es elevado (concretamente alcanza un valor promedio de 65,97°). Por su parte, la posición horizontal del brazo (BC), se encuentra muy cerca de la ventana y en una zona en la que apenas es influenciada por el efecto bloqueador que puede suponer el techo del propio vehículo.

Para el caso de las **ventanillas cerradas**, se observa que estas dos zonas también son de las que más radiación reciben, pero acompañadas de la posición **vertical hacia delante del conductor (VC)** que recibe más dosis incluso que la posición del brazo del conductor (BC); ello demuestra que el efecto de filtro de la ventanilla es más efectivo sobre la posición más directamente posicionada hacia el Sol, como es el brazo del conductor, que sobre la posición vertical hacia delante del conductor.

El efecto bloqueo del techo, se puede observar constatando el hecho de que para ambos casos (ventanillas abiertas y ventanillas cerradas), la posición en que menor radiación UVER se recibe es la **horizontal del pasajero (HP)**, ya que, por un lado se encuentra alejada de la radiación solar (que entra por la zona izquierda del vehículo en

todo momento) y por otro, se encuentra orientada hacia el techo del vehículo que bloquea la radiación incidente sombreando casi totalmente esta zona del vehículo.

A continuación se representan en las figuras 7.48 y 7.49, los valores de dosis UVER para cada caso de conductor (figura 7.48) y de pasajero (figura 7.49) separadamente.

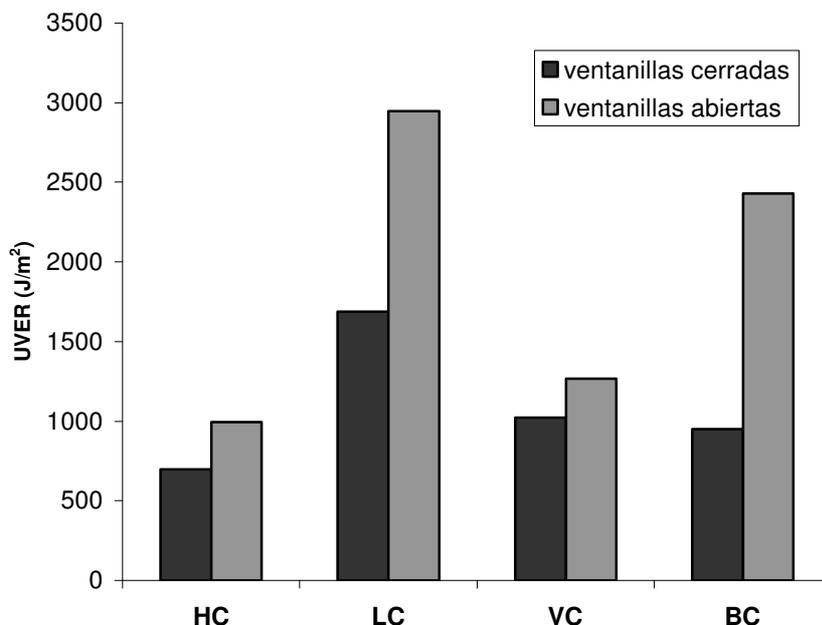


Figura 7.48.- UVER para el caso del conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre

Las posiciones más afectadas por la radiación UVER recibida en el caso del **conductor** son la posición **lateral con orientación hacia la ventanilla (LC)** con las ventanillas abiertas y la posición **horizontal que ocupa el brazo izquierdo (BC)** del conductor con las ventanillas abiertas.

Sin embargo, hay que resaltar el hecho de que, después de estas dos posiciones, se encuentra la posición **lateral en dirección hacia la ventanilla (LC)** y con las ventanillas cerradas que recibe solo un **30%** menos de la dosis recibida en el brazo (BC) con las ventanillas abiertas y un **58,6%** más de la dosis recibida en la posición horizontal (HC) y con las ventanillas completamente abiertas.

A excepción de la zona lateral, las situaciones en que menos dosis se recibe en esta época y en el caso del conductor, son aquellas en las que las ventanillas están completamente cerradas. Se suman en estos casos los efectos de la orientación no favorable hacia el Sol, el efecto de la ventanilla lateral como filtro de la radiación y el efecto del vidrio del parabrisas, que además es laminado y ofrece un poco más de resistencia extra al paso de la radiación. En la posición **horizontal en la parte superior de la cabeza (HC)** y con las ventanillas cerradas es donde menos dosis se recibe debido al hecho de que, en este caso, el efecto filtro de la ventanilla lateral se suplementa con la acción bloqueadora del techo del vehículo.

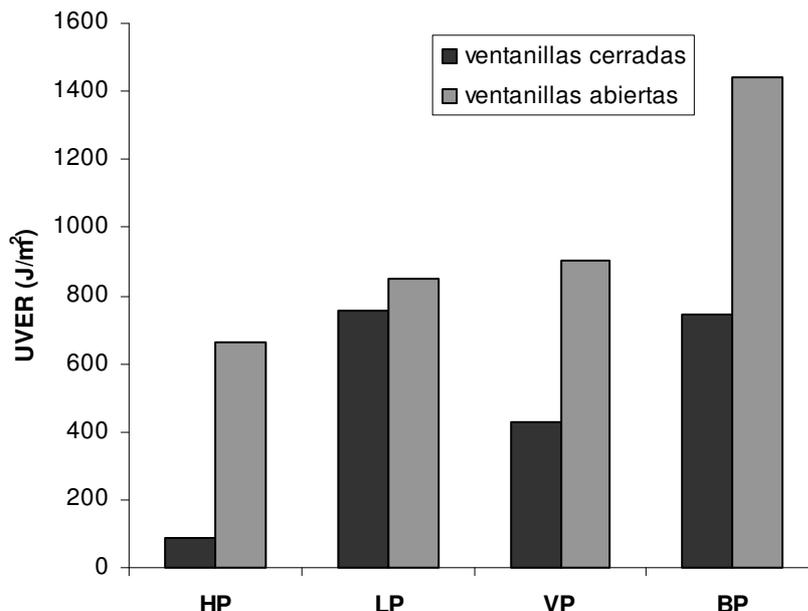


Figura 7.49.- UVER para el caso del pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Para el caso particular de la zona que está ocupada por el **pasajero** dentro del vehículo, se puede observar en la figura 7.49 que la zona con mayor dosis UVER recibida es la del **brazo derecho del pasajero (BP)** apoyado en la base de la ventanilla y con las ventanillas abiertas.

La posición del Sol en el cielo con valores del ángulo cenital elevados, es el motivo de que el resto de posiciones que más dosis reciben en esta zona del vehículo sean las de orientación vertical, ya que el Sol incide más perpendicularmente sobre ellas.

La posición en que menos radiación se recibe es la **horizontal en la parte superior de la cabeza (HP)** con las ventanillas cerradas. En esta posición, se suman los efectos de la orientación no favorable hacia el Sol, el efecto de la ventanilla lateral como filtro de la radiación y el efecto muy acusado en este caso del bloqueo que ofrece el techo del vehículo a la radiación recibida en estas zonas.

Todas estas conclusiones se pueden cuantificar y clarificar con el estudio de los siguientes cocientes de exposición:

- UVER con ventanilla cerrada / UVER al exterior $\equiv UVER_{VC} / UVER_E$
- UVER con ventanilla abierta / UVER al exterior $\equiv UVER_{VA} / UVER_E$
- UVER con ventanilla cerrada / UVER con ventanilla abierta $\equiv UVER_{VC} / UVER_{VA}$
- UVER con ventanilla abierta / UVER con ventanilla cerrada $\equiv UVER_{VA} / UVER_{VC}$

Estos cocientes se han analizado para cada una de las posiciones del conductor y del pasajero.

a) Conductor.

En la tabla 7.57 se muestran los valores de los índices para el caso del conductor.

Tabla 7.57.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Posición del dosímetro	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_{VA}}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_{VC}}$
HC	0,21	0,36	0,70	1,42
LC	0,51	1,03	0,57	1,75
VC	0,31	0,44	0,81	1,24
BC	0,29	0,89	0,39	2,56

En las figuras 7.50 a 7.53 se observa la representación gráfica de dichos valores.

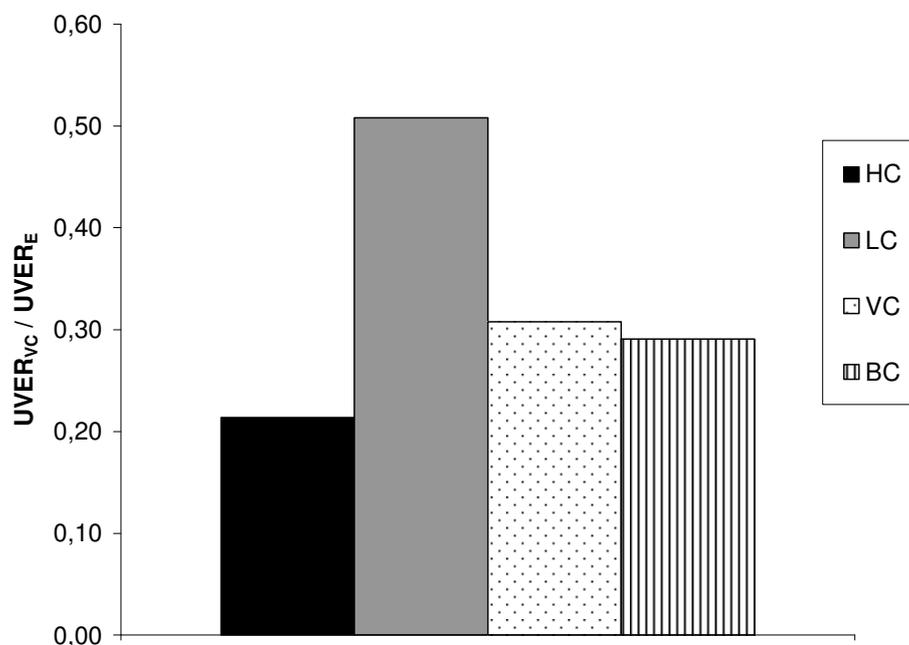


Figura 7.50.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre.

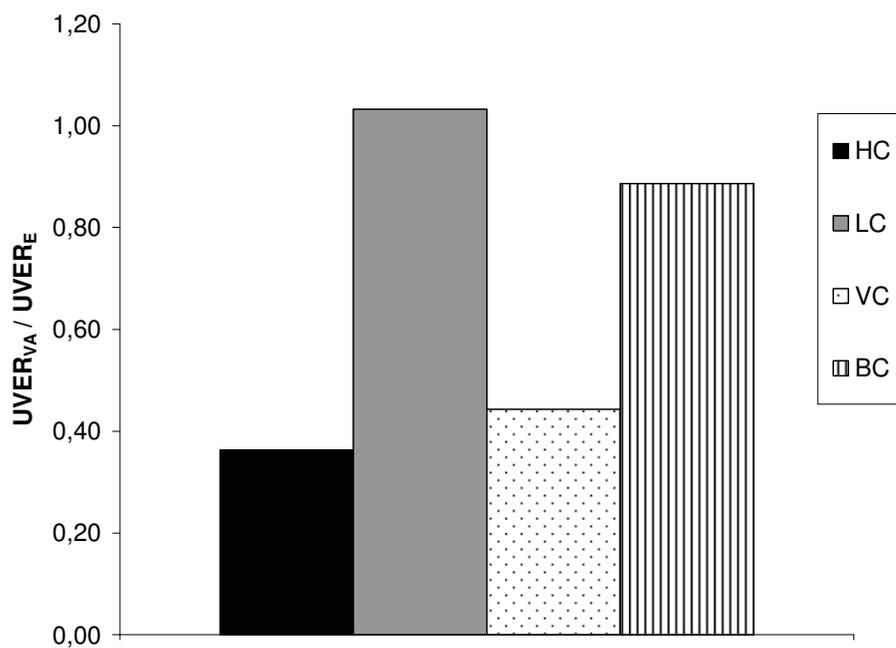


Figura 7.51.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre

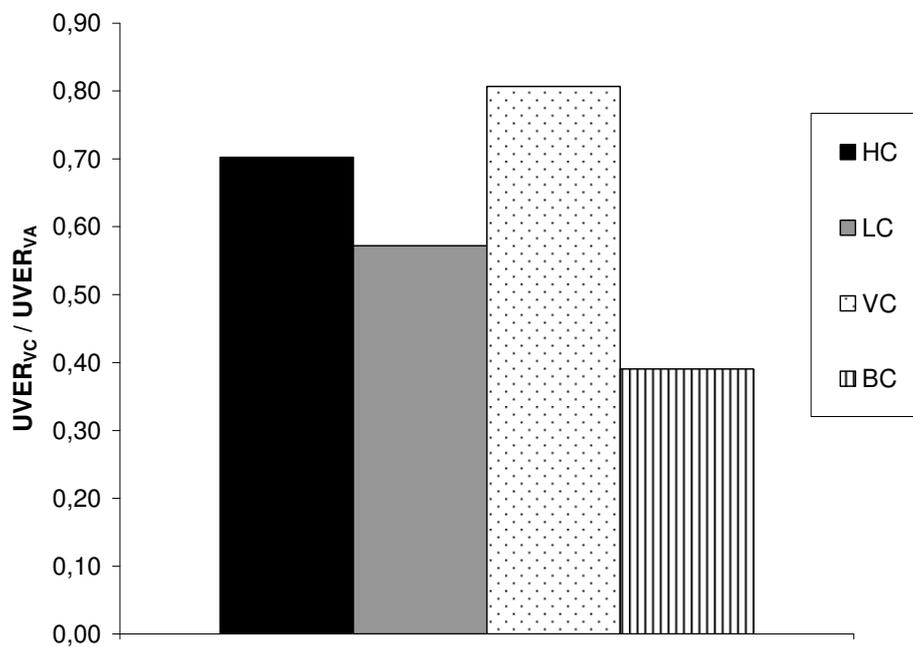


Figura 7.52.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre.

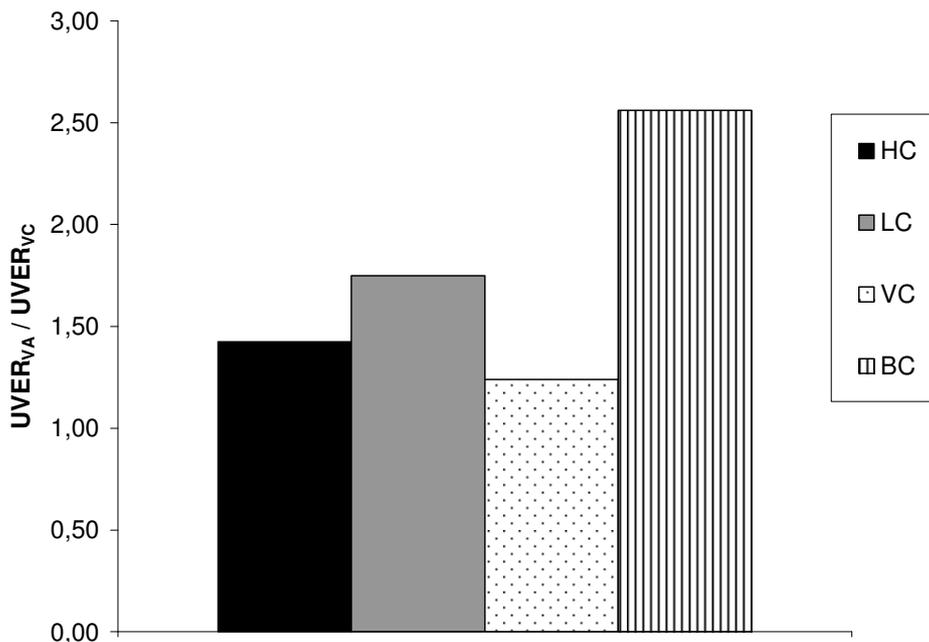


Figura 7.53.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el conductor en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Del análisis proporcionado por los valores obtenidos en la tabla 7.57 y representados en las figuras 7.50 a 7.53, podemos cuantificar los efectos que se comentaban en párrafos anteriores de este mismo apartado. Para el caso con la ventanilla cerrada, en la posición **lateral frente a la ventanilla (LC)** se recibe un **51%** de la radiación que llegaría al exterior del vehículo y en el caso del **brazo del conductor (BC)** un **29%**. Estos valores se incrementan considerablemente en el caso que las ventanillas estén completamente abiertas, tomando un valor de un **103%** para la posición lateral (LC) y un **89%** para el brazo izquierdo del conductor (BC); es decir, que para estas dos posiciones con las ventanillas abiertas, se puede decir que la protección que supone el vehículo frente a la radiación ultravioleta eritemática es prácticamente inexistente, pues se alcanzan valores de dosis casi idénticos a la situación al exterior del vehículo.

Otro dato importante que revelan estos cocientes, es el hecho de que, para esta época del año, el efecto de filtrado ejercido por la ventanilla no es demasiado efectivo, como demuestran los elevados valores que toma el cociente $UVER_{VC} / UVER_{VA}$ para el caso de la posición horizontal (HC) y vertical hacia delante (VC); concretamente en esta última posición se recibe con las ventanillas cerradas un **81%** de la dosis que se recibiría con las ventanillas completamente abiertas. Sin embargo, también es cierto que es en esta época del año es cuando menos intensidad tiene la radiación ultravioleta por lo que el peligro relativo a estas dosis se reduce.

b) Pasajero.

En la tabla 7.58 se muestran los valores de estos índices para el caso del pasajero.

Tabla 7.58.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior, ventanilla abierta / exterior, ventanilla cerrada / ventanilla abierta y ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el caso del pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Posición del dosímetro	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_E}$	$\frac{UVER_{VC}}{UVER_{VA}}$	$\frac{UVER_{VA}}{UVER_{VC}}$
HP	0,03	0,24	0,13	7,79
LP	0,23	0,30	0,89	1,12
VP	0,13	0,32	0,47	2,12
BP	0,23	0,53	0,52	1,94

En las figuras 7.54 a 7.57 se han representado gráficamente dichos índices.

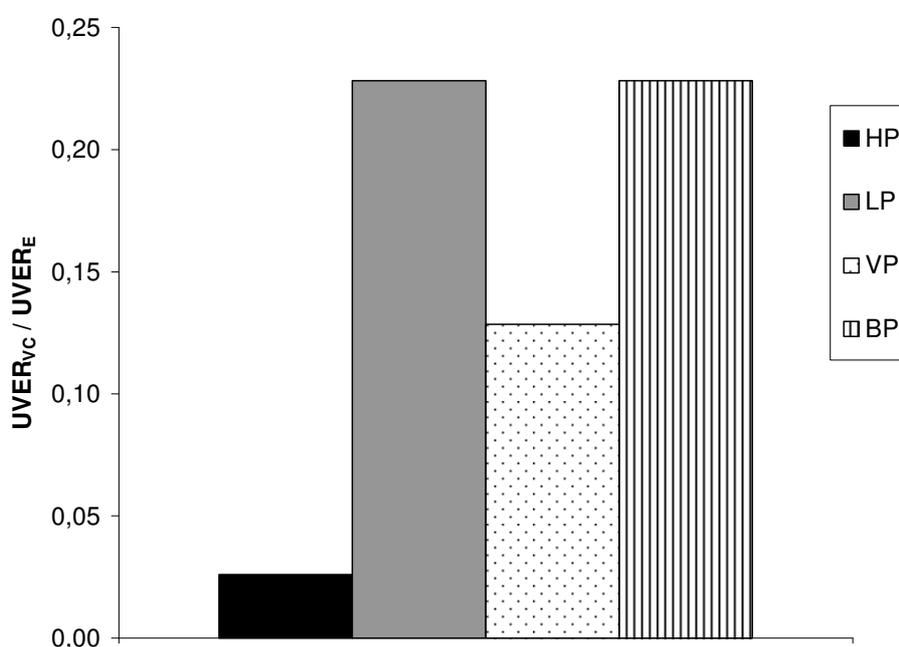


Figura 7.54.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / exterior para el pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.

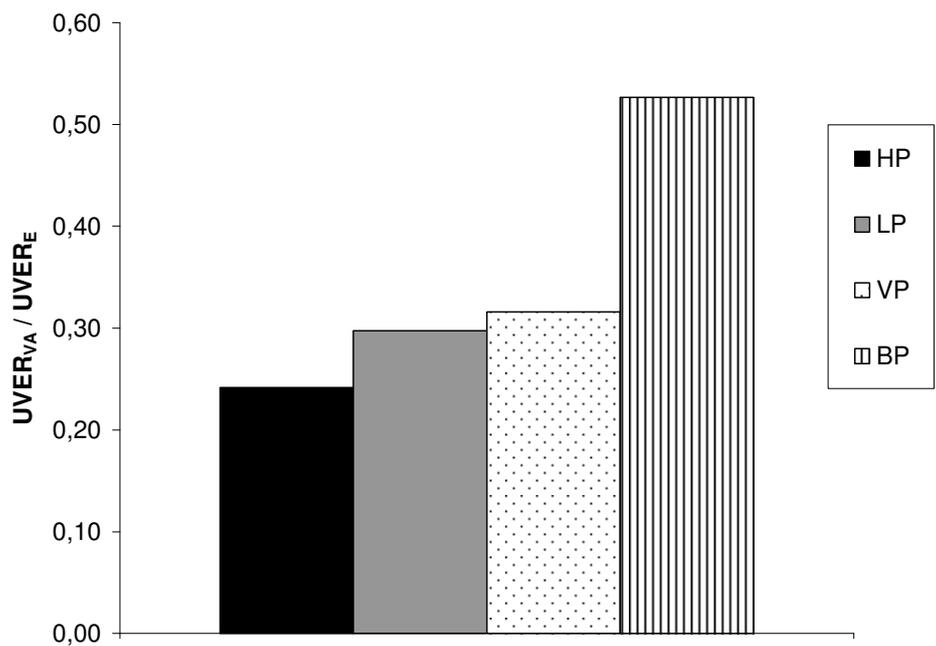


Figura 7.55.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / exterior para el pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.

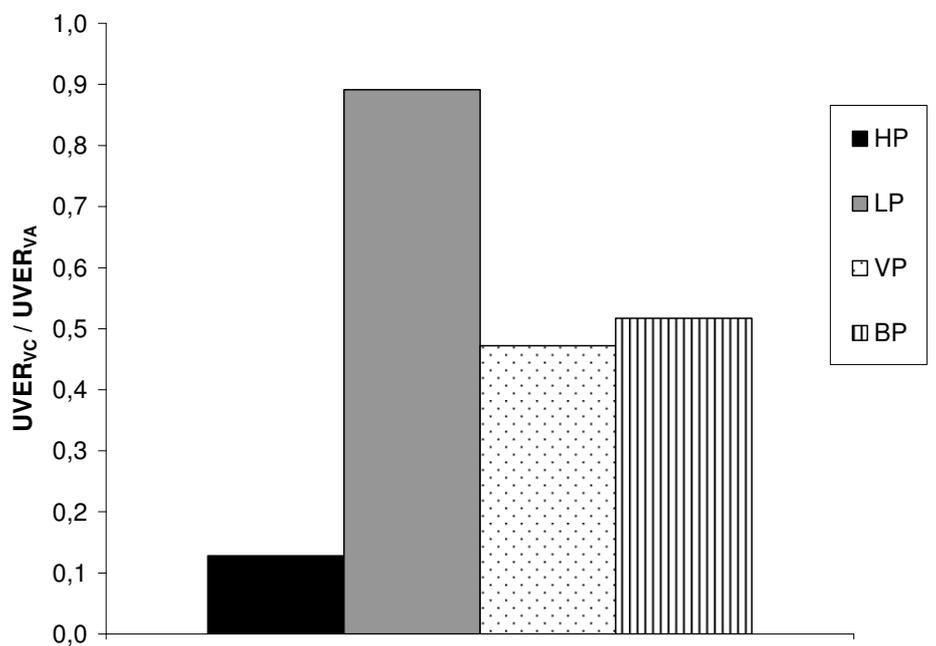


Figura 7.56.- Cocientes de exposición de ventanilla cerrada / ventanilla abierta para el pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.

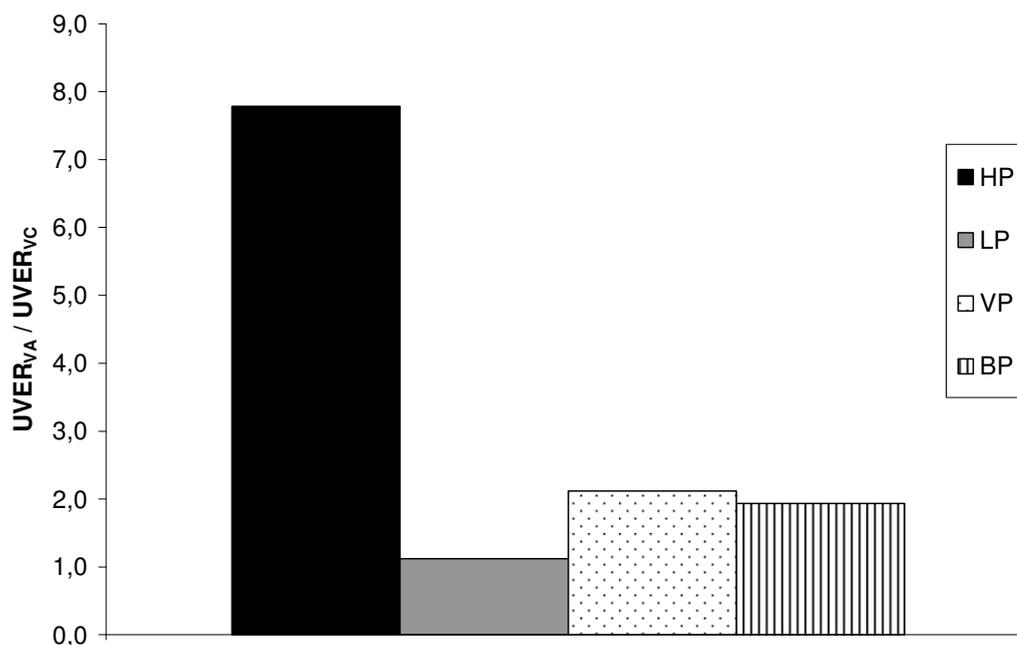


Figura 7.57.- Cocientes de exposición de ventanilla abierta / ventanilla cerrada para el pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre.

En el caso del **pasajero**, se observa, en general, que los cocientes de exposición en las posiciones objeto de estudio son pequeños, sin embargo también hay posiciones más afectadas que otras.

En la situación con las ventanillas cerradas, en la posición **lateral hacia a la ventanilla del conductor (LP)** y en la posición del **brazo derecho (BP)**, se recibe un **23%**, en ambos casos, de la radiación que se recibiría en el exterior. Son las posiciones en que más radiación se recibe; con las ventanillas abiertas, también son las posiciones más afectadas junto con la posición **vertical frente al parabrisas (VP)** recibiendo entre un **30** y un **53%** de la dosis que recibirían al exterior.

En este caso, el efecto de las ventanillas se hace más patente, sobretodo para algunas posiciones como la **horizontal (HP)** y la **vertical frente al parabrisas (VP)** en las que, el hecho de tener las ventanillas abiertas respecto a tenerlas cerradas, implica aumentar en un factor de un **7,79** y **2,12** respectivamente la dosis recibida.

7.4.2.- Tiempo hasta el eritema

En primer lugar, por tanto, se muestra en las tablas 7.59 a 7.61, en cuanto tiempo se han medido los valores de UVER anteriormente representados para esta época de octubre-noviembre-diciembre:

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas cerradas se muestra en la tabla 7.59.

Tabla 7.59.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Medida	Tiempo de medida
HC	19h 26min
LC	19h 26min
VC	19h 26min
BC	19h 26min
HP	19h 26min
LP	19h 26min
VP	19h 26min
BP	19h 26min

Para el caso de las medidas del coche con las ventanillas abiertas, los resultados se muestran en la tabla 7.60.

Tabla 7.60.- Tiempo de medidas con el coche con las ventanillas cerradas en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Medida	Tiempo de medida
HC	19h 26min
LC	19h 26min
VC	19h 26min
BC	19h 26min
HP	19h 26min
LP	19h 26min
VP	19h 26min
BP	19h 26min

Para el caso de medidas al exterior, los resultados se muestran en la tabla 7.61.

Tabla 7.61.- Tiempo de medidas al exterior en la época de octubre-noviembre-diciembre.

Medida	Tiempo de medida
HS	19h 26min
VS	19h 26min

Se conoce la cantidad de radiación que produce un eritema a cada fototipo de piel, según la tabla 5.7 del apartado 5.1.

En las tablas 7.62, 7.63 y 7.64 se muestra el tiempo hasta que se produce el eritema en el período de octubre-noviembre-diciembre, para diferentes posiciones del dosímetro en el sitio del conductor y del pasajero y para tres casos:

- a) ventanillas cerradas
- b) ventanillas abiertas
- c) medidas ambientes (en el exterior del coche)

- a) Caso ventanillas cerradas.

Los resultados se muestran en la tabla 7.62.

Tabla 7.62.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas cerradas para la época de octubre-noviembre-diciembre.

Posición dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HC	5h29min	6h52min	9h36min	12h21min	15h6min	17h51min
LC	2h16min	2h50min	3h59min	5h7min	6h15min	7h23min
VC	3h45min	4h41min	6h34min	8h27min	10h19min	12h12min
BC	4h2min	5h3min	7h4min	9h5min	11h6min	13h7min
HP	45h5min	56h21min	78h54min	101h26min	123h59min	146h31min
LP	5h4min	6h20min	8h52min	11h23min	13h55min	16h27min
VP	8h60min	11h15min	15h45min	20h14min	24h44min	29h14min
BP	5h9min	6h26min	9h0min	11h34min	14h9min	16h43min

- b) Caso ventanillas abiertas.

Los resultados se muestran en la tabla 7.63.

Tabla 7.63.- Tiempo hasta el eritema para las diferentes posiciones del conductor y el pasajero en el caso de coche con las ventanillas abiertas para la época de octubre-noviembre-diciembre.

Posición dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HC	3h51min	4h49min	6h45min	8h40min	10h36min	12h32min
LC	1h18min	1h37min	2h16min	2h55min	3h34min	4h13min
VC	3h2min	3h47min	5h18min	6h49min	8h19min	9h50min
BC	1h35min	1h58min	2h46min	3h33min	4h20min	5h8min
HP	5h47min	7h14min	10h8min	13h1min	15h55min	18h49min
LP	4h31min	5h39min	7h54min	10h9min	12h25min	14h40min
VP	4h15min	5h19min	7h26min	9h34min	11h41min	13h48min
BP	2h39min	3h19min	4h39min	5h59min	7h18min	8h38min

c) Caso al exterior del coche.

Los resultados se muestran en la tabla 7.64.

Tabla 7.64.- Tiempo hasta el eritema en el caso de medidas al exterior del coche para la época de octubre-noviembre-diciembre.

Posición dosímetro	Piel tipo I	Piel tipo II	Piel tipo III	Piel tipo IV	Piel tipo V	Piel tipo VI
HS	1h10min	1h28min	2h3min	2h38min	3h14min	3h49min
VS	1h9min	1h27min	2h1min	2h36min	3h11min	3h45min

En esta época del año, la intensidad de la radiación solar no es tan grande como en otras épocas, sin embargo al analizar las tablas anteriores, podemos resaltar el hecho de que, para un viaje en el que se llevaran hipotéticamente las ventanillas completamente abiertas y en la posición del conductor lateral hacia la ventanilla (LC), podría aparecer un eritema a una persona de tez blanca en apenas **1h 18 minutos**, si bien es cierto que en estos meses se suele viajar con las ventanillas del coche cerradas, en cuyo caso el eritema para esta persona también sería susceptible de aparecer pero en un tiempo sensiblemente superior, **2h 16 minutos**.

7.5.- COMPARACIÓN DE LAS MEDIDAS PARA TODO EL AÑO

7.5.1.- Dosis de radiación UVER recibida

En los apartados precedentes se ha analizado, de forma separada, la radiación ultravioleta eritemática incidente en diferentes posiciones del interior de un coche para distintas épocas del año.

Sin embargo, el cociente de exposición y la dosis de radiación eritemática que puede recibir una persona en el interior de un vehículo, puede cambiar con la estación del año y con la hora del día, debido a los cambios en las proporciones relativas de radiación directa y difusa provocadas por el cambio del ángulo cenital y por tanto del ángulo de incidencia de la radiación sobre la superficie y las posibles sombras que pueda proyectar sobre los pasajeros del vehículo.

De la comparación de los valores obtenidos para las distintas épocas del año, se puede concluir con mayor precisión cual es el efecto que producen las ventanillas y el propio vehículo en si mismo como barreras físicas entre la radiación solar incidente y las personas que se encuentran en el interior del vehículo.

Se ha medido a lo largo de todo el año 2009, dividiendo las campañas de medida en las siguientes épocas:

- febrero-marzo-abril
- mayo-junio
- julio-septiembre
- octubre-noviembre-diciembre

Se han calculado los valores promedio entre los días de medida del ángulo de incidencia de los rayos sobre una superficie horizontal (θ_h) y sobre superficie vertical (θ_v), de forma que se puedan comparar dichos valores con los valores de dosis que se han obtenido para cada época del año. Los resultados de los valores de los ángulos se muestran en la tabla 7.65.

Tabla 7.65.- Valores de θ_h , ángulo de incidencia sobre superficie horizontal promedio entre los días de medida y de θ_v , ángulo de incidencia sobre superficie vertical promedio entre los días de medida.

Época del año	θ_H (°)	θ_V (°)
febrero-marzo-abril	55,96	53,74
mayo-junio	34,54	78,76
julio-agosto-septiembre	45,74	65,84
octubre-noviembre-diciembre	65,97	44,10

7.5.1.1.- Cociente de exposición

Se definen los siguientes índices de exposición:

$UVER_{VC} / UVER_E = UVER$ con las ventanillas del coche cerradas / $UVER$ al exterior del coche

$UVER_{VA} / UVER_E = UVER$ con las ventanillas del coche abiertas / $UVER$ al exterior del coche

$UVER_{VC} / UVER_{VA} = UVER$ con las ventanillas del coche cerradas / $UVER$ con las ventanillas del coche abiertas

$UVER_{VA} / UVER_{VC} = UVER$ con las ventanillas del coche abiertas / $UVER$ con las ventanillas del coche cerradas

siendo $UVER$, la dosis de radiación $UVER$ recibida en J/m^2 .

El primer parámetro que se analiza en la tabla 7.66, es el cociente de exposición para cada época del año, para cada situación del vehículo (ventanillas cerradas y ventanillas abiertas) y en cada posición.

En la tabla 7.66 muestra un resumen de los cocientes de exposición mencionados para las distintas épocas del año.

Tabla 7.66 Cocientes de exposición para todas las épocas del año

Posición del dosímetro	Feb-mar-abril				Mayo-junio				Jul-sep				Oct-nov-dic			
	UVER _{VC} / UVER _E	UVER _{VA} / UVER _E	UVER _{VC} / UVER _{VA}	UVER _{VA} / UVER _{VC}	UVER _{VC} / UVER _E	UVER _{VA} / UVER _E	UVER _{VC} / UVER _{VA}	UVER _{VA} / UVER _{VC}	UVER _{VC} / UVER _E	UVER _{VA} / UVER _E	UVER _{VC} / UVER _{VA}	UVER _{VA} / UVER _{VC}	UVER _{VC} / UVER _E	UVER _{VA} / UVER _E	UVER _{VC} / UVER _{VA}	UVER _{VA} / UVER _{VC}
HC	0,15	0,06	2,71	0,37	0,00	0,04	0,00	∞	0,02	0,14	0,08	11,97	0,21	0,36	0,70	1,42
LC	0,31	1,15	0,27	3,70	0,30	0,48	0,38	2,65	0,32	0,65	0,31	3,22	0,51	1,03	0,57	1,75
VC	0,02	0,08	0,29	3,42	0,00	0,04	0,00	∞	0,22	0,28	0,49	2,03	0,31	0,44	0,81	1,24
BC	0,19	0,97	0,20	5,07	0,22	0,82	0,27	3,69	0,27	0,61	0,34	2,98	0,29	0,89	0,39	2,56
HP	0,00	0,00	0,63	1,60	0,04	0,02	2,38	0,42	0,16	0,12	1,00	1,00	0,03	0,24	0,13	7,79
LP	0,04	0,06	0,72	1,40	0,00	0,05	0,00	∞	0,29	0,21	0,84	1,19	0,23	0,30	0,89	1,12
VP	0,05	0,03	1,75	0,57	0,05	0,05	0,56	1,77	0,17	0,09	1,15	0,87	0,13	0,32	0,47	2,12
BP	0,03	0,19	0,16	6,42	0,07	0,76	0,09	11,30	0,15	0,39	0,29	3,39	0,23	0,53	0,52	1,94

Posición del dosímetro:

HC = horizontal en la cabeza del conductor

LC = vertical dirigida hacia la ventanilla del conductor

VC = vertical dirigida hacia el parabrisas en la cabeza del conductor

BC = horizontal en el reposa brazos del conductor

HP = horizontal en la cabeza del pasajero

LP = vertical dirigida hacia la ventanilla del conductor pero en la cabeza del pasajero

VP = vertical dirigida hacia el parabrisas en la cabeza del pasajero

BP = horizontal en el reposa brazos del pasajero

Índices analizados:

$UVER_{VC} / UVER_E$ = UVER con las ventanillas del coche cerradas / UVER al exterior del coche

$UVER_{VA} / UVER_E$ = UVER con las ventanillas del coche abiertas / UVER al exterior del coche

$UVER_{VC} / UVER_{VA}$ = UVER con las ventanillas del coche cerradas / UVER con las ventanillas del coche abiertas

$UVER_{VA} / UVER_{VC}$ = UVER con las ventanillas del coche abiertas / UVER con las ventanillas del coche cerradas

En las figuras 7.58 a 7.60, se ha representado el valor de los diferentes cocientes de exposición para cada época, para las posiciones del **conductor**, para todas las posiciones de estudio y también el valor medio del ángulo cenital solar y de incidencia sobre superficie vertical en los días en que tuvieron lugar las medidas en cada época del año.

Conductor:

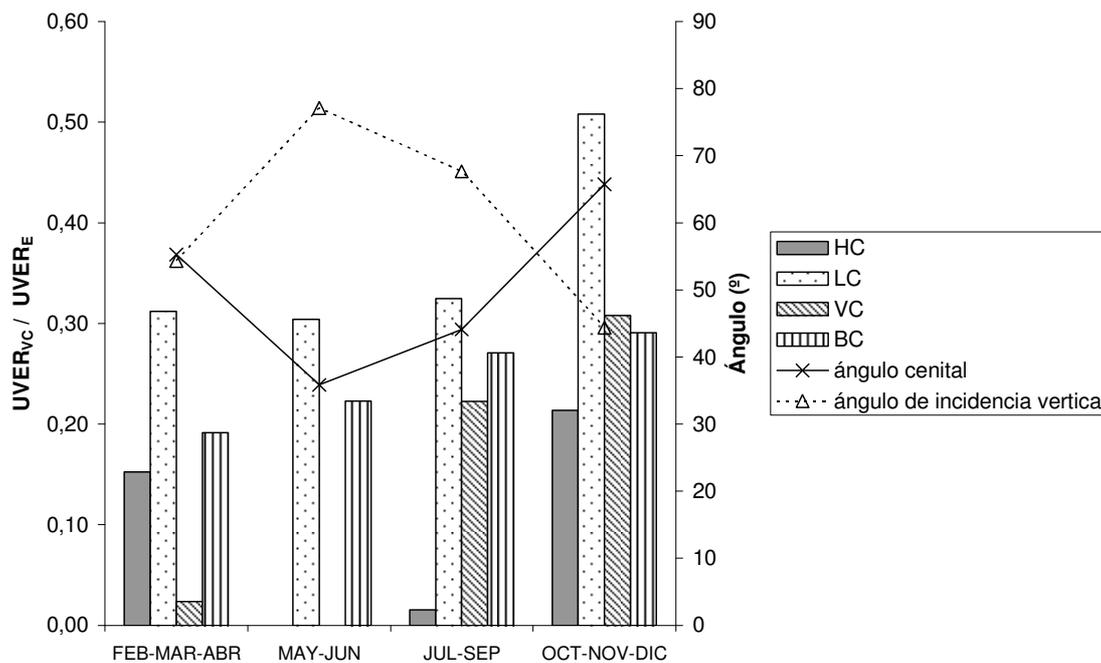


Figura 7.58.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas cerradas / UVER al exterior para el conductor en diferentes posiciones y para cada época del año.

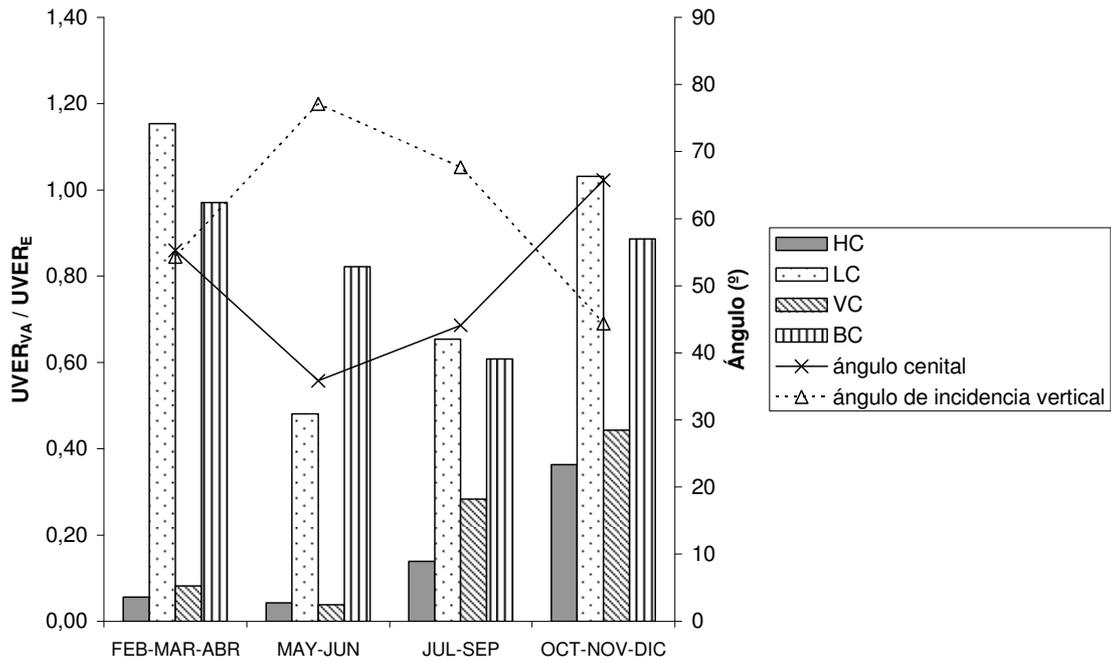


Figura 7.59.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas abiertas / UVER al exterior para el conductor en diferentes posiciones y para cada época del año.

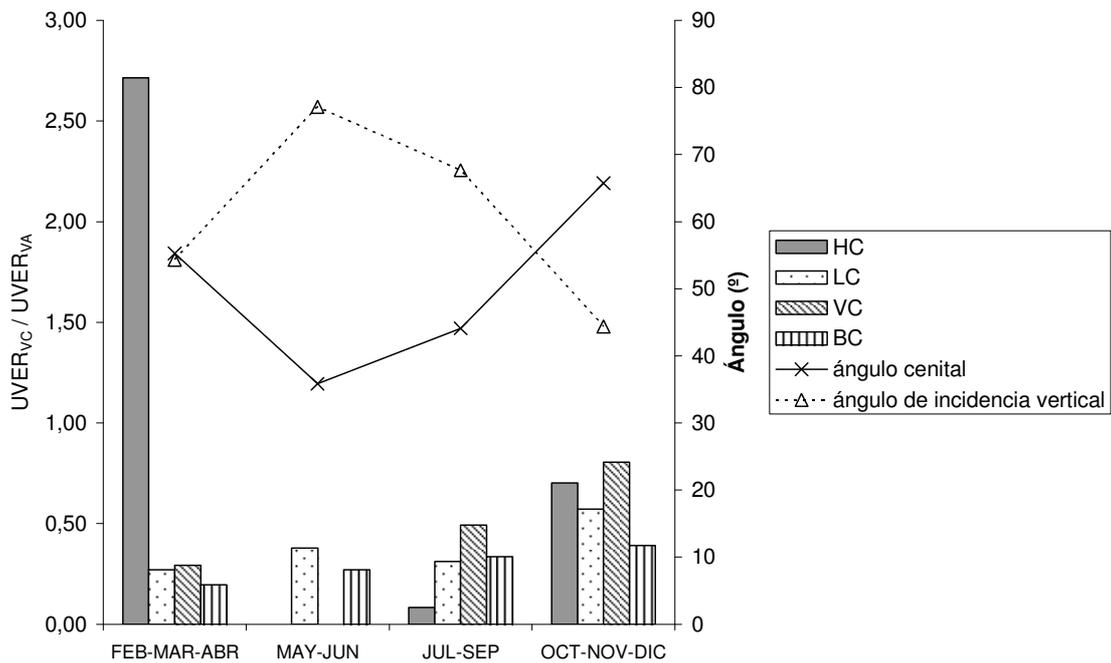


Figura 7.60.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas cerradas / UVER con las ventanillas abiertas para el conductor en diferentes posiciones y para cada época del año.

Del los valores obtenidos en la tabla 7.66 y representados en las figuras 7.58 a 7.60, se puede observar como, en principio e independientemente de la época del año en que nos encontremos, para el **conductor** del vehículo, las posiciones más peligrosas en cuanto a que son las que más radiación reciben respecto al exterior son: la posición **lateral hacia la ventanilla (LC)** y la posición del **brazo izquierdo supuestamente apoyado en la ventanilla (BC)** tanto si las ventanillas del coche están totalmente cerradas como si están totalmente abiertas.

Eso sí, el efecto de filtrado de las ventanillas, si bien no es total, sí que se muestra como muy efectivo incluso para estas posiciones más desfavorables.

Así, mientras que para el caso de las ventanillas totalmente abiertas los valores del cociente de exposición $UVER_{VA} / UVER_E$ oscilan entre un **48%** y un **115%** para la posición lateral frente a ventanilla (LC), para el caso con las ventanillas cerradas, el cociente $UVER_{VC} / UVER_E$ toma valores que van desde un **30%** a un **51%**.

Para el otro caso desfavorable del brazo del conductor (BC), en el caso de tener todas las ventanillas abiertas, el cociente $UVER_{VA} / UVER_E$ toma valores que se mueven dentro del rango entre **61%** y **97%**, mientras que para la misma posición pero con las ventanillas totalmente cerradas el cociente $UVER_{VC} / UVER_E$ varía entre **19%** y **29%**.

Si se analiza la evolución del valor de este cociente de exposición $UVER_{VA} / UVER_E$ en el caso de las ventanillas abiertas, se puede deducir una tendencia que muestra como para las épocas en que el valor medio del ángulo cenital es mayor (febrero-marzo-abril y octubre-noviembre-diciembre) se dan los mayores valores del cociente para la posición **lateral frente a la ventanilla (LC)**. La explicación está en el hecho de que al ser el ángulo cenital mayor, esto se corresponde con un ángulo de incidencia sobre superficie vertical menor, y por tanto los rayos inciden más perpendicularmente sobre esta posición concreta del conductor del vehículo.

Concretamente, se puede estimar que el paso de una época con un ángulo cenital solar pequeño (mayo-junio y julio-septiembre) a una época con un ángulo solar cenital mayor (febrero-marzo-abril y octubre-noviembre-diciembre), puede suponer un incremento de un **58,26%** de la radiación recibida por la posición lateral frente a la ventanilla (LC).

Para la otra posición crítica que se había comentado y que era el **brazo del conductor (BC)**, se observa que también para las épocas del año con ángulo cenital solar medio mayor, se recibe una mayor proporción de radiación en comparación con la que se recibe al exterior del vehículo, mientras que para las épocas con ángulo cenital más pequeño (meses de verano) el porcentaje se reduce. Esta tendencia que podría resultar contradictoria a lo esperado para una superficie horizontal para la cual un ángulo cenital menor supone un aumento de la cantidad de radiación recibida, se puede explicar por el hecho de que en el caso del vehículo entran en juego múltiples factores que pueden variar esta tendencia.

En este caso hay un factor que entra en juego principalmente cuando el Sol está más alto (ángulo cenital menor) y es la presencia física del techo del vehículo. Justamente en esta época es cuando más radiación es capaz de bloquear y por tanto

mayor cantidad de sombras produce sobre las posiciones interiores del vehículo. Es por ello que la posición horizontal del brazo del conductor se ve afectada y el valor del cociente de exposición en estas épocas se reduce.

Aunque en menor medida que para el caso de la posición lateral frente a la ventanilla (LC), en el caso del brazo del conductor (BC) el paso de una época de ángulo cenital pequeño a otra con ángulo cenital mayor, puede incrementar hasta un **37,11%** la cantidad de radiación recibida en esa posición respecto a la recibida al exterior del vehículo.

Al analizar la evolución del cociente en el caso de las ventanillas cerradas, $UVER_{VC} / UVER_E$, es más difícil intuir una tendencia de los datos a lo largo del año, ya que entran en juego muchas más variables en este caso, como el filtrado de los cristales, la reflexión de los mismos, las sombras que se producen en el interior del vehículo, etc.

Sin embargo, como sucedía para el caso de las ventanillas abiertas, se observa como para la época en que el ángulo cenital solar es mayor (octubre-noviembre-diciembre), el valor del cociente de exposición, tanto para la posición **lateral frente a ventanilla (LC)** como para el **brazo del conductor (BC)**, alcanza los valores mayores (**51%** y **29%** respectivamente).

Si se hace referencia a las posiciones que menos dosis de radiación reciben en el interior del vehículo, hay que resaltar la posición **horizontal en la cabeza del conductor (HC)** y la posición **vertical frente al parabrisas (VC)**.

Estas dos zonas del interior del vehículo, por su orientación dentro del mismo, son las que muestran una mayor independencia del hecho de que las ventanillas estén completamente abiertas o completamente cerradas. Es por ello que no existe tanta diferencia entre los valores del cociente de exposición en ambas situaciones.

Así, los cocientes de exposición $UVER_{VA} / UVER_E$ para la posición **horizontal del conductor (HC)** oscilan entre un **4%** y un **36%** a lo largo del año para el caso en que las ventanillas estén completamente abiertas y ese valor oscila entre un **0%** y un **21%** en el caso del cociente $UVER_{VC} / UVER_E$.

En el caso de la otra posición menos desfavorable, la **vertical frente al parabrisas (VC)**, los valores del cociente de exposición $UVER_{VA} / UVER_E$ oscilan entre un **4%** y un **44%** a lo largo del año y entre un **0%** y un **31%** para el cociente $UVER_{VC} / UVER_E$.

Sin embargo, pese a la dificultad de adivinar una tendencia en estos datos debido a la multitud de variables que afectan, sí que es notorio el hecho de que para ambas posiciones, horizontal (HC) y vertical frente al parabrisas (VC), en las épocas en que el ángulo cenital solar es menor (mayo-junio), se observa que el valor del cociente $UVER_{VC} / UVER_E$ es **0%** y de solo un **4%** en el caso de $UVER_{VA} / UVER_E$. Esto demuestra la hipótesis que se comentaba anteriormente del efecto de bloqueo del techo del vehículo para ángulos cenitales pequeños.

En las épocas en que el ángulo cenital aumenta, se observa como el efecto bloqueo del techo se reduce y se alcanzan los valores mayores del cociente de

exposición tanto con las ventanillas cerradas como con las ventanillas abiertas. Así, para la posición horizontal (HC), en la época de octubre-noviembre-diciembre, se obtienen valores de **21%** y de **36%** en el caso de $UVER_{VC} / UVER_E$ y $UVER_{VA} / UVER_E$ respectivamente, mientras que para la posición vertical frente al parabrisas (VC) se obtienen porcentajes de **31%** y **44%** para el caso de $UVER_{VC} / UVER_E$ y $UVER_{VA} / UVER_E$ respectivamente.

Por último y para incidir en el efecto de la ventanilla, en la figura 7.60 se muestra el cociente de exposición para el caso de la ventanilla cerrada respecto a la ventanilla abierta.

Es complicado extraer una conclusión general sobre el efecto que producen las ventanillas, ya que dependerá de la posición que se estudie (horizontal o vertical) y la ubicación de la zona de estudio dentro del vehículo.

De todas formas, si se analiza el conjunto de todas las posiciones del conductor, se puede observar como los valores del cociente de exposición de la radiación recibida con las ventanillas cerradas respecto a la recibida con las ventanillas abiertas, es más elevado en general para los meses en que el ángulo solar cenital es mayor (octubre-noviembre-diciembre); concretamente esos valores del cociente van desde un **39%** para el caso del **brazo del conductor (BC)** hasta un **81%** para la posición **vertical hacia el parabrisas (VC)**; es decir, que las ventanillas se muestran menos efectivas en estos casos pues filtran menos la radiación.

En cambio, para los meses de ángulo cenital solar menor (mayo-junio), este valor del cociente es, en general, más bajo; concretamente desde un valor de **0%** para las posiciones **horizontal (HC)** y **vertical hacia el parabrisas (VC)** hasta un valor de **38%** para la posición **lateral hacia la ventanilla (LC)**, lo cual implica que el efecto de filtrado de las ventanillas es mayor en estos casos.

Esta reducción del efecto de filtro de la ventanilla sobre la dosis recibida en el interior del vehículo entre la época de mayo-junio y la de octubre-noviembre-diciembre va desde un **12%** para el caso del brazo del conductor hasta un **81%** para el caso de la posición vertical hacia el parabrisas.

Cabe destacar también el valor anómalo que se obtiene en la dosis recibida en la posición horizontal en la época de febrero-marzo-abril, probablemente debida a algún tipo de reflexión o de sombra que ha afectado a los resultados en este punto.

En las figuras 7.61 a 7.63, se ha representado el valor de los diferentes cocientes de exposición para cada época, para las posiciones del **pasajero**, para todas las posiciones de estudio y también el valor medio del ángulo cenital solar y de incidencia sobre superficie vertical en los días en que tuvieron lugar las medidas en cada época del año.

Pasajero:

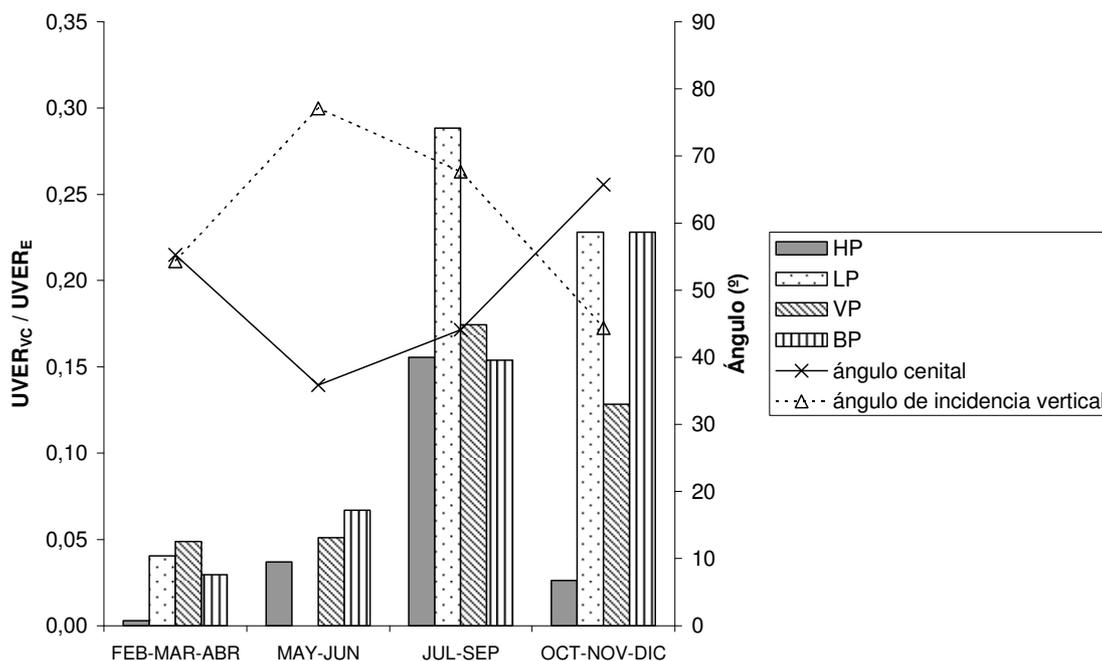


Figura 7.61.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas cerradas / UVER al exterior para el pasajero en diferentes posiciones y para cada época del año.

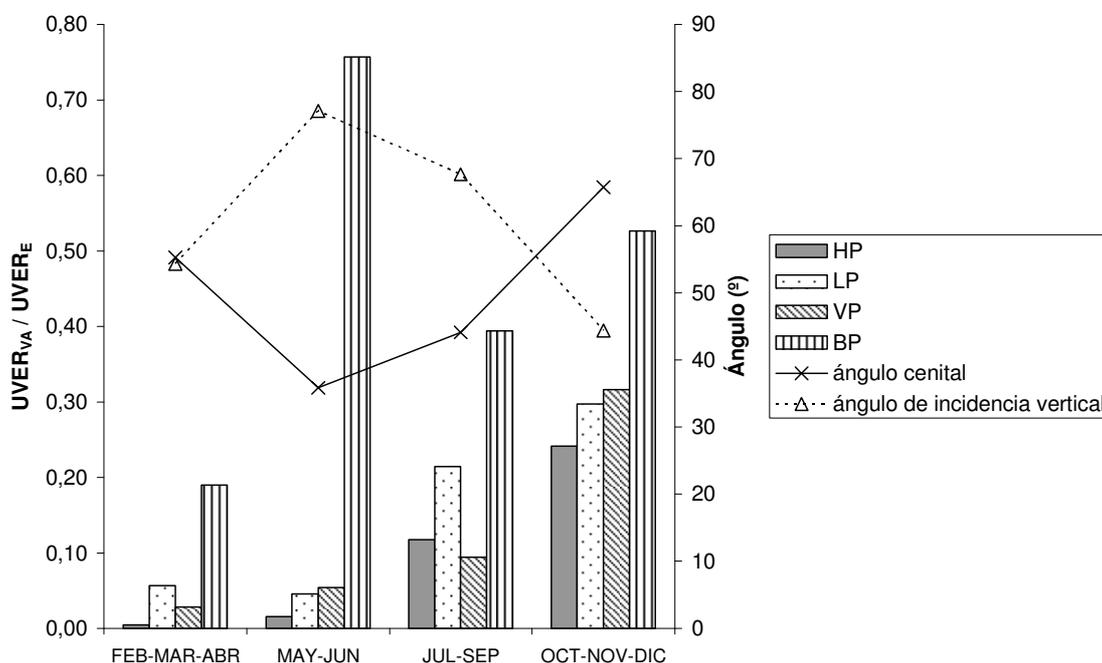


Figura 7.62.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas abiertas / UVER al exterior para el pasajero en diferentes posiciones y para cada época del año.

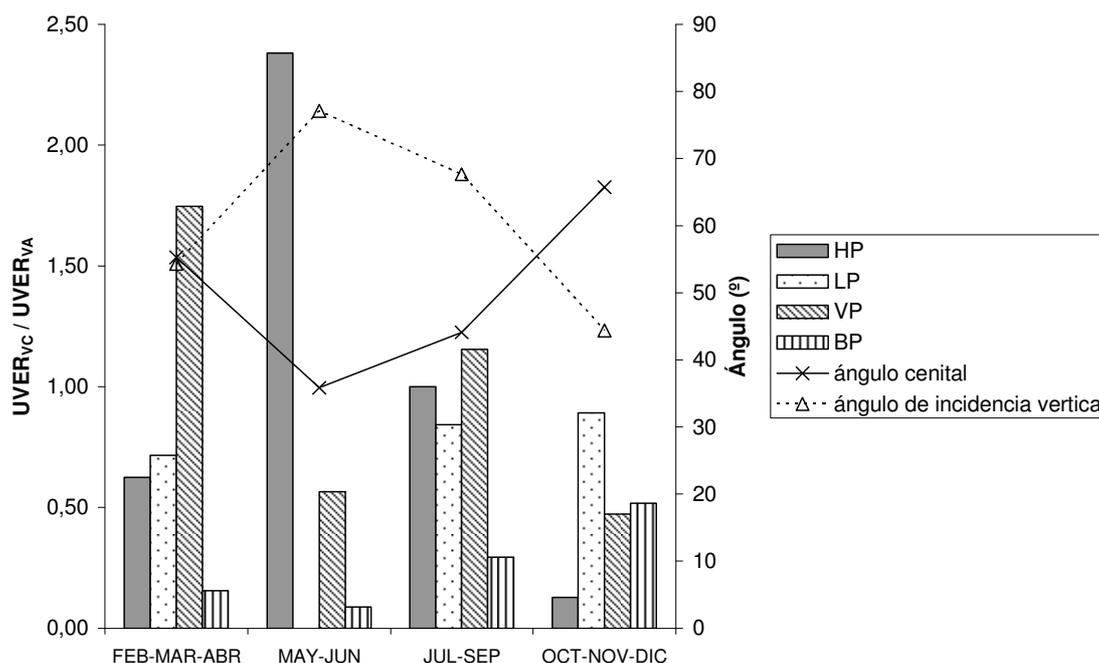


Figura 7.63.- Variación del cociente de exposición UVER con ventanillas cerradas / UVER con las ventanillas abiertas para el pasajero en diferentes posiciones y para cada época del año.

Para el caso del **pasajero** del vehículo resulta doblemente dificultoso la obtención de una conclusión clara sobre la evolución temporal de la dosis recibida por cada zona, ya que a los efectos que se producen en el interior del vehículo, que se han comentado anteriormente, hay que añadir las sombras que aparecen sobre la posición del pasajero del vehículo fruto de la presencia física muy cercana del conductor.

Sin embargo, del análisis proporcionado por los valores obtenidos en la tabla 7.66 y representados en las figuras 7.61 a 7.63, se puede observar como en principio e independientemente de la época del año en que nos encontremos, para la posición del pasajero del vehículo, las posiciones más peligrosas en cuanto a que son las que más radiación reciben respecto a la radiación exterior, son la posición **lateral hacia la ventanilla del conductor (LP)**, la posición del **brazo derecho supuestamente apoyado en la ventanilla (BP)** y también **la posición vertical hacia el parabrisas (VP)**, tanto si las ventanillas del coche están totalmente cerradas como si están totalmente abiertas.

De todas formas, existe una clara diferencia entre los valores de los cocientes de exposición para el conductor y para el pasajero, siendo sensiblemente inferiores los de este último, tanto para el caso de ventanillas abiertas como con las ventanillas cerradas. Ello implica que, en el caso del pasajero, la dosis recibida de radiación será siempre inferior a la que pueda recibir el conductor para el caso de estudio considerado y con la orientación del vehículo de forma que el Sol incida sobre la parte del conductor.

Concretamente, para la **posición del brazo del conductor (BC)** y el **brazo del pasajero (BP)**, que se han considerado como las más desfavorables, se observa que la diferencia entre conductor y pasajero por el cociente de exposición $UVER_{VC} / UVER_E$, oscila entre un **20,69%** menos en el caso del pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre y un **84,21%** menos en la época de febrero-marzo-abril.

Para la misma posición, pero con las ventanillas abiertas, cociente $UVER_{VA} / UVER_E$, observamos una diferencia entre el conductor y el pasajero que va desde un **7,31%** menos en el caso del pasajero para la época de mayo-junio, hasta un **80,41%** menos para el pasajero en la época de febrero-marzo-abril.

Para otra de las posiciones desfavorables, como es la **lateral hacia la ventanilla del conductor (LC y LP)**, la diferencia entre el conductor y el pasajero se puede apreciar al estudiar el cociente de exposición $UVER_{VA} / UVER_E$. En este caso, la diferencia va desde un **67,6%** menos en el caso del pasajero para la época de julio-septiembre hasta una diferencia de un **94,78%** menos en el caso del pasajero en la época de febrero-marzo-abril.

Se puede observar como las mayores diferencias entre la dosis recibida por el conductor y el pasajero se dan en las épocas del año en que el ángulo cenital solar es mayor y en cambio, la diferencia de dosis se reduce en las épocas en que el ángulo cenital solar es menor.

Ello se debe a que cuando el Sol tiene un ángulo cenital mayor, incide más perpendicularmente sobre las posiciones interiores del vehículo, ya que el ángulo de incidencia de los rayos con la ventanilla del conductor es menor; por ello las posiciones del conductor, en general se verán más directamente afectadas por la radiación recibida que el pasajero que, además, encontrará el efecto de la propia sombra arrojada por la presencia física del conductor.

En cambio, para las épocas del año en que el ángulo solar cenital es menor, el Sol se encuentra en una posición más elevada en la esfera celeste y por lo tanto, tanto la posición del conductor como la posición del pasajero se ven beneficiadas por la acción del techo del vehículo que ejerce como barrera física de la radiación que viene del exterior; es por ello que en esta época se reducen las diferencias entre la dosis recibida por conductor y pasajero.

7.5.2.- Tiempo hasta la aparición de eritema en la piel

En la tabla 7.67, se muestra un resumen de los tiempos para los que podría aparecer un eritema en la piel en las diferentes posiciones que se han estudiado, en posición horizontal y vertical para cada fototipo de piel y en cada época del año.

Tabla 7.67.- Tiempo hasta la aparición de eritema en la piel para cada época del año para las diferentes posiciones y los distintos tipos de piel

Posición del dosímetro	Febrero-marzo-abril		Mayo-junio		Julio-septiembre		Octubre-noviembre-diciembre	
	VeCe	VeAb	VeCe	VeAb	VeCe	VeAb	VeCe	VeAb
Piel Tipo I								
HC	7h 23min	20h 29min	∞	12h 54min	38h27min	3h13min	5h29min	3h51min
LC	3h 25min	56min	3h 2min	1h 10min	2h48min	52min	2h16min	1h18min
VC	44h 40min	13h 20min	∞	14h 55min	4h5min	2h0min	3h45min	3h2min
BC	5h 54min	1h 11min	2h 24min	40min	2h11min	44min	4h2min	1h35min
HP	393h 12min	251h	14h 30min	35h 32min	3h49min	3h49min	45h5min	5h47min
LP	26h 23min	19h 18min	∞	12h 25min	3h9min	2h39min	5h4min	4h31min
VP	21h 50min	38h 59min	18h 8min	10h 32min	5h13min	6h1min	8h60min	4h15min
BP	38h 10min	6h 4min	7h 58min	43min	3h51min	1h8min	5h9min	2h39min
Piel Tipo II								
HC	9h 14min	25h 36min	∞	16h 8min	48h4min	4h1min	6h52min	4h49min
LC	4h 16min	1h 10min	3h 48min	1h 28min	3h30min	1h5min	2h50min	1h37min
VC	55h 51min	16h 40min	∞	18h 39min	5h6min	2h31min	4h41min	3h47min
BC	7h 22min	1h 28min	3h	50min	2h44min	55min	5h3min	1h58min
HP	491h 30min	313h 45min	18h 7min	44h 25min	4h46min	4h46min	56h21min	7h14min
LP	32h 59min	24h 7min	∞	15h 32min	3h56min	3h19min	6h20min	5h39min
VP	27h 18min	48h 44min	22h 40min	13h 10min	6h31min	7h31min	11h15min	5h19min
BP	47h 43min	7h 35min	9h 58min	54min	4h49min	1h25min	6h26min	3h19min
Piel Tipo III								
HC	12h 55min	35h 51min	∞	22h 36min	67h17min	5h37min	9h36min	6h45min
LC	5h 59min	1h 39min	5h 19min	2h 3min	4h54min	1h31min	3h59min	2h16min
VC	78h 11min	23h 21min	∞	26h 7min	7h9min	3h31min	6h34min	5h18min
BC	10h 19min	2h 4min	4h 11min	1h 10min	3h50min	1h17min	7h4min	2h46min
HP	688h 6min	439h 15min	25h 22min	62h 11min	6h40min	6h40min	78h54min	10h8min
LP	46h 10min	33h 47min	∞	21h 45min	5h31min	4h39min	8h52min	7h54min
VP	38h 13min	68h 13min	31h 44min	18h 27min	9h7min	10h32min	15h45min	7h26min
BP	66h 48min	10h 37min	13h 57min	1h 16min	6h45min	1h59min	9h0min	4h39min

Posición del dosímetro	Febrero-marzo-abril		Mayo-junio		Julio-agosto-septiembre		Octubre-noviembre-diciembre	
	VeCe	VeAb	VeCe	VeAb	VeCe	VeAb	VeCe	VeAb
Piel Tipo IV								
HC	16h 37min	46h 6min	∞	29h 3min	86h30min	7h14min	12h21min	8h40min
LC	7h 42min	2h 7min	6h 50min	2h 39min	6h18min	1h57min	5h7min	2h55min
VC	100h 31min	30h 1min	∞	33h 35min	9h11min	4h31min	8h27min	6h49min
BC	13h 15min	2h 40min	5h 23min	1h 30min	4h56min	1h39min	9h5min	3h33min
HP	884h 42min	564h 45min	32h 37min	79h 57min	8h35min	8h34min	101h26min	13h1min
LP	59h 22min	43h 26min	∞	27h 58min	7h5min	5h58min	11h23min	10h9min
VP	49h 9min	87h 43min	40h 48min	23h 43min	11h44min	13h32min	20h14min	9h34min
BP	85h 53min	13h 40min	17h 56min	1h 38min	8h40min	2h33min	11h34min	5h59min
Piel Tipo V								
HC	20h 19min	56h 21min	∞	35h 30min	105h44min	8h50min	15h6min	10h36min
LC	9h 24min	2h 36min	8h 21min	3h 14min	7h41min	2h23min	6h15min	3h34min
VC	122h 52min	36h 41min	∞	41h 3min	11h13min	5h31min	10h19min	8h19min
BC	16h 12min	3h 16min	6h 35min	1h 50min	6h1min	2h1min	11h6min	4h20min
HP	1081h 18min	690h 15min	39h 52min	97h 43min	10h29min	10h29min	123h59min	15h55min
LP	72h 34min	53h 6min	∞	34h 11min	8h40min	7h18min	13h55min	12h25min
VP	60h 4min	107h 13min	49h 52min	28h 59min	14h20min	16h33min	24h44min	11h41min
BP	104h 58min	16h 42min	21h 55min	2h	10h36min	3h8min	14h9min	7h18min
Piel Tipo VI								
HC	24h 1min	66h 35min	∞	41h 58min	124h57min	10h26min	17h51min	12h32min
LC	11h 7min	3h 4min	9h 52min	3h 49min	9h5min	2h49min	7h23min	4h13min
VC	145h 13min	43h 21min	∞	48h 31min	13h16min	6h31min	12h12min	9h50min
BC	19h 9min	3h 51min	7h 47min	2h 10min	7h7min	2h24min	13h7min	5h8min
HP	1277h 54min	815h 45min	47h 7min	115h 30min	12h23min	12h23min	146h31min	18h49min
LP	85h 46min	62h 45min	∞	40h 24min	10h14min	8h38min	16h27min	14h40min
VP	70h 59min	126h 43min	58h 57min	34h 15min	16h56min	19h33min	29h14min	13h48min
BP	124h 4min	19h 45min	25h 55min	2h 21min	12h32min	3h42min	16h43min	8h38min

siendo:

HC = horizontal en la cabeza del conductor

LC = vertical dirigida hacia la ventanilla del conductor

VC = vertical dirigida hacia el parabrisas en la cabeza del conductor

BC = horizontal en el reposa brazos del conductor

HP = horizontal en la cabeza del pasajero

LP = vertical dirigida hacia la ventanilla del conductor pero en la cabeza del pasajero

VP = vertical dirigida hacia el parabrisas en la cabeza del pasajero

BP = horizontal en el reposa brazos del pasajero

VeCe = ventanillas cerradas

VeAb = ventanillas abiertas

La tabla 7.67 cuantifica, en función del tiempo, las conclusiones que se habían extraído anteriormente al analizar los cocientes de exposición de los dos tipos de muro.

Así, por ejemplo, si se entra en la tabla con el **Tipo de piel I**, podemos ver como los tiempos hasta el eritema en general son grandes, pero sin embargo, hay posiciones en que puede aparecer el eritema en la piel para períodos de tiempo no demasiado grandes. En el caso del conductor y para la posición lateral hacia la ventanilla (LC), podría aparecer en **menos de una hora** para febrero-marzo-abril, si bien es cierto que ello sucedería en el caso en que las ventanillas estuvieran completamente abiertas, lo cual es bastante improbable que suceda en un viaje en esta época del año, debido a que las condiciones climáticas exteriores no suelen ser demasiado favorables.

Para otra de las posiciones desfavorables que se comentaba, el brazo del conductor apoyado en la ventanilla (BC), se podría producir un eritema en esa misma persona de Piel tipo I en la época de mayo-junio en tan solo **40 minutos**.

Como se ha comentado, en el caso del pasajero los tiempos hasta la aparición de eritema son por lo general más grandes, sin embargo para una de las posiciones desfavorables que se comentó, como es el brazo derecho apoyado en la ventanilla del pasajero (BP), se podría producir un eritema en una persona de piel Tipo I en la época de mayo-junio con las ventanillas completamente abiertas en menos de 45 minutos, por lo cual hay que tener en cuenta que pese a que el pasajero que se encuentra en la orientación en que el Sol no incide perpendicularmente sobre su ventanilla, está más protegido en general de la incidencia de los rayos del Sol, también existen posiciones en que puede verse bastante afectado.

Capítulo 8. CONCLUSIONES

En este capítulo se resumen las principales conclusiones de los estudios que se han realizado, tanto para el análisis de la radiación ultravioleta eritemática en la sombra de un árbol, como frente a un muro vertical o en el interior de un vehículo.

8. CONCLUSIONES

Se han efectuado medidas de la dosis de radiación ultravioleta eritemática (UVER, J/m^2) ante diferentes barreras físicas, para de este modo, analizar su impacto en la exposición recibida por las personas que se encuentran bajo su influencia.

Se han escogido tres tipos de barreras físicas, atendiendo a tres posibles situaciones que se pueden dar en la vida cotidiana de una persona: la presencia de un árbol, de un muro vertical y el interior de un vehículo.

La medida de la dosis de radiación eritemática recibida, se ha efectuado empleando dosímetros Blue Line Tipo II (para los meses de febrero a octubre) y Tipo I (desde octubre a diciembre) de la casa VioSpor; BioSense, que emplean procedimientos biotecnológicos para la acumulación de radiación (film de esporas).

Los dosímetros VioSpor empleados tienen un perfil de respuesta muy similar al de la piel humana (de 290 a 380 nm). Ello hace que este tipo de dosímetros sean muy adecuados para determinar y predecir interacciones eritemáticas entre la radiación UV y la piel humana.

El rango de medida de los dosímetros Tipo I empleados es de 50 a 3000 J/m^2 y el de los Tipo II es de 100 a 5500 J/m^2 . Por ello los de Tipo I, de menor capacidad se han empleado en los meses de invierno, y se ha empleado el de Tipo II de mayor capacidad para el resto de meses del año.

Además de la medida de dosis eritemática efectuada con los dosímetros VioSpor, se han efectuado puntualmente y para cada una de las tres barreras comentadas anteriormente, medidas de irradiancia UV eritemática a lo largo de un día. Estas medidas se han llevado a cabo con un radiómetro **PMA2100** de la casa Solar Light Co conectado a dos detectores modelo **PMA2102C** que se calibraron el 11/10/2006 y se volvieron a calibrar con certificado de calibración trazable al NIST (National Institute of Standards and Technology) el 23/9/2009 en Solar Light Company Inc., 100 East Glenside Avenue, Glenside, PA 19038.

Las medidas efectuadas, tanto para el caso los árboles, como de los muros y del interior del vehículo, han tenido lugar en el Instituto de Tecnología Eléctrica, situado en el Parque Tecnológico de Paterna (Valencia).

Para analizar el efecto de la **sombra de un árbol** sobre la dosis UVER recibida por las personas, se han tomado dos tipos de árbol, unos menos denso, tipo A y otro más denso, tipo B.

Se midió en días relativamente despejados desde febrero a diciembre de 2009, colocando, cada día de medida, tres dosímetros: uno a pleno Sol, otro en la sombra del árbol A y el tercero en la sombra del árbol B. Los tres dosímetros en posición horizontal.

Se ha analizado el cociente de exposición entre la dosis UVER recibida en la sombra del árbol y la dosis UVER recibida a pleno Sol, y se observa que, para ambos tipos de árbol, dicho cociente es mayor para las épocas de invierno (febrero-marzo-abril

y octubre-noviembre-diciembre) que para las épocas de verano (mayo-junio y julio-septiembre).

Se observa que se produce una disminución de la proporción de difusa de invierno a verano de un 28,9% para el árbol A y en un 55,5% para el árbol B.

Esta tendencia se puede explicar con la variación de la posición del Sol a largo del año. En la época de invierno, el ángulo cenital solar tiene un valor más elevado. La consecuencia inmediata es que la radiación solar tiene que atravesar un camino más largo hasta llegar a la superficie terrestre y, por ello, los fenómenos de dispersión Rayleigh se dan con mayor intensidad, provocando una mayor presencia de la radiación difusa sobre la global. En cambio, en la época de verano, el ángulo cenital es menor y así el recorrido de la radiación solar se reduce, y con él los fenómenos de dispersión atmosférica, de forma que llega mayor proporción de radiación directa que de radiación difusa a la superficie.

Se observa que los valores de este cociente de exposición son, para cualquier época del año, más elevados en el caso del árbol tipo A que en el árbol tipo B, resultando en los meses de invierno de 0,38 para el árbol A y de 0,27 para el árbol B y en los meses de verano de un 0,27 para el árbol A y un 0,12 para el árbol B. Ello se debe a que en el árbol más denso (tipo B), la cantidad de radiación global que penetra es menor, y al ser la radiación global la suma de la componente directa más la difusa, la componente difusa también se reduce, por lo que el valor del cociente disminuye.

Al analizar el factor de protección FPUVER, se observa que independientemente de la época del año, el árbol B se muestra más efectivo que el árbol A en la protección frente a la radiación UVER. Para la época de febrero-marzo-abril, el árbol B es un 18,29% más efectivo que el árbol A; en cambio en los meses en que el ángulo cenital es menor (meses de mayo-junio) es hasta un 53,7% más efectivo.

Al analizar el tiempo hasta la aparición del eritema en cada posición y para cada época del año, se observa que la época en que más rápidamente podría aparecer un eritema, en la posición a pleno Sol, es la de mayo y junio, debido al valor medio pequeño que alcanza el ángulo cenital solar. Además, se observa como para el caso de la sombra del árbol A, el tiempo hasta el eritema es mayor en los meses de invierno y se reduce claramente para los meses de verano; sin embargo en la posición de la sombra del árbol B, los tiempos en verano incluso aumentan.

Se analiza la irradiancia media recibida en un día medio de cada época y se observa que los valores de irradiancia recibidos bajo la sombra del árbol A son, para todas las épocas, mayores que los recibidos bajo la sombra del árbol B. Además el cociente de exposición entre la UVER a la sombra y la UVER al Sol muestra como, sobretodo para el árbol tipo A, a primeras horas de la mañana el porcentaje de difusa es mayor que a mediodía. Esta variación no es tan acusada en el caso del árbol de tipo B debido a su mayor densidad de follaje.

Para analizar el efecto de la presencia **del muro vertical** sobre la dosis UVER recibida por las personas, se han tomado dos tipos de muro, uno de hormigón y otro metálico.

Se ha analizado el cociente de exposición entre la dosis UVER recibida en la frente al muro y la dosis UVER recibida sin muro enfrente para el muro metálico, observándose que, para la posición vertical frente al muro metálico y en cualquier época del año, se recibe más radiación que en la posición vertical pero sin tener ningún muro enfrente; sin embargo para las posiciones horizontales este efecto no es tan acusado.

Se observa que en los meses de mayo-junio y julio-septiembre, tanto para la posición horizontal como para la posición vertical, se obtienen los valores más altos del cociente de exposición, por tanto cuando el ángulo cenital solar es pequeño (lo que ocurre en esos meses), esto es, cuando menor proporción hay de radiación difusa, mayor poder reflectante tiene el muro metálico. De hecho, entre la época con ángulo cenital menor (meses de mayo-junio y julio-septiembre) y la época con mayor ángulo cenital (meses de febrero-marzo abril y de octubre-noviembre-diciembre) se da una reducción de un 27,88% en el porcentaje de radiación recibida frente al muro metálico respecto a la posición en que no hay muro para la posición horizontal y de un 27,38% para la posición vertical.

El dato excesivamente elevado de la dosis recibida en posición vertical frente al muro en la época de febrero-marzo-abril deja entrever la posibilidad de que la superficie del muro produzca una reflexión muy similar a la reflexión especular caracterizada por reflejar los rayos en direcciones preferentes.

En el caso del muro de hormigón, hay que destacar el hecho de que, para cualquier época del año, el efecto de bloqueo de la radiación difusa, y por tanto de disminución de radiación recibida, es el que más predomina en las posiciones frente a este tipo de muro.

Comparando ambos tipos de muro, se concluye que para la época de julio-septiembre, en que se han registrado mayores valores de dosis, en posición horizontal frente a muro metálico, se puede recibir un valor superior en un 8% al valor de la dosis recibida frente al muro de hormigón y en posición vertical frente a muro metálico, para esa misma época, se puede recibir un 319% de su posición análoga frente a muro de hormigón.

Se ha medido el coeficiente de reflexión para el muro metálico, como el cociente entre la irradiancia UVER reflejada por éste en posición vertical y la irradiancia UVER incidente sobre el mismo en posición vertical, resultando un valor de 0,75.

Para analizar el efecto de las ventanillas del **vehículo** sobre la dosis UVER recibida por las personas, se han analizado dos tipos de situaciones sobre el mismo vehículo: con las ventanillas completamente abiertas y con las ventanillas completamente cerradas. Todo ello se ha estudiado para la posición del conductor y para la posición del pasajero.

Con independencia de la época del año en que nos encontremos, para el conductor del vehículo, las posiciones que más radiación reciben respecto a la radiación exterior son: la posición lateral hacia la ventanilla (LC) y la posición del brazo izquierdo apoyado en la ventanilla (BC), tanto si las ventanillas del coche están totalmente cerradas como si están totalmente abiertas.

En el caso del vehículo con las ventanillas abiertas, para las épocas en que el valor medio del ángulo cenital es mayor (febrero-marzo-abril y octubre-noviembre-diciembre) se dan los mayores valores del cociente de exposición $UVER_{VA} / UVER_E$ para la posición lateral frente a la ventanilla (LC), debido a que los rayos inciden más perpendicularmente sobre esta posición. Se recibe un 58,26% más de dosis que en las épocas con ángulo cenital menor (mayo-junio y julio-septiembre). También para el brazo del conductor (BC) se recibe un 37,11% más de radiación si el ángulo cenital es mayor.

En el caso del vehículo con las ventanillas cerradas es más difícil intuir una tendencia de los datos a lo largo del año, ya que entran en juego muchas más variables en este caso, como el filtrado de los vidrios, la reflexión de los mismos, las sombras que se producen en el interior del vehículo, etc.

Al comparar el caso de las ventanillas abiertas y las ventanillas cerradas, se observa que los valores del cociente de exposición $UVER_{VC} / UVER_{VA}$, es más elevado para los meses en que el ángulo solar cenital es mayor (octubre-noviembre-diciembre); con un valor del 39% para el caso del brazo del conductor (BC) y un 81% para la posición vertical hacia el parabrisas (VC) que para los meses de ángulo cenital solar menor (mayo-junio), en que se obtiene un valor de 0% para la posición horizontal (HC) y vertical hacia el parabrisas (VC) y un valor de 38% para la posición lateral hacia la ventanilla (LC), lo cual implica que el efecto de filtrado de las ventanillas es mayor en estos casos.

Para la zona del pasajero, las posiciones que más radiación reciben respecto a la radiación exterior son la lateral hacia la ventanilla del conductor (LP), la del brazo derecho apoyado en la ventanilla (BP) y también la posición vertical hacia el parabrisas (VP), tanto si las ventanillas del coche están totalmente cerradas como si están totalmente abiertas.

Comparando las zonas del conductor y del pasajero, se observa que para la posición del brazo del conductor (BC) y el brazo del pasajero (BP), que se han considerado como las más desfavorables, la diferencia entre el cociente de exposición $UVER_{VC} / UVER_E$, oscila entre un 20,69% menos en el caso del pasajero en la época de octubre-noviembre-diciembre y un 84,21% menos en la época de febrero-marzo-abril.

Para la misma posición, pero con las ventanillas abiertas, cociente $UVER_{VA} / UVER_E$, se observa una diferencia entre el conductor y el pasajero que va desde un

7,31% menos en el caso del pasajero para la época de mayo-junio, hasta un 80,41% menos para el pasajero en la época de febrero-marzo-abril.

Para otra de las posiciones desfavorables, como es la lateral hacia la ventanilla del conductor (LC y LP), la diferencia en el cociente de exposición $UVER_{VA} / UVER_E$ va desde un 67,6% menos en el caso del pasajero para la época de julio-septiembre hasta una diferencia de un 94,78% menos en el caso del pasajero en la época de febrero-marzo-abril.

Se puede observar como las mayores diferencias entre la dosis recibida por el conductor y el pasajero se dan en las épocas del año en que el ángulo cenital solar es mayor. Ello se debe a que cuando el Sol tiene un ángulo cenital mayor, incide más perpendicularmente sobre las posiciones interiores del vehículo, por ello las posiciones del conductor, se ven más directamente afectadas por la radiación recibida que el pasajero que, además, encuentra el efecto de la propia sombra arrojada por la presencia física del conductor.

En cambio, para las épocas del año en que el ángulo solar cenital es menor, tanto la posición del conductor como la posición del pasajero se ven beneficiadas por la acción del techo del vehículo que ejerce como barrera física de la radiación que viene del exterior.

Como perspectivas futuras, se podría completar el análisis para el caso de los árboles, tomando medidas en posición vertical y también en posición normal al Sol así como midiendo en mayor variedad de árboles.

En el caso de los muros, el análisis sería conveniente efectuarlo también con otro tipo de construcción que pueda ser frecuente, como vidrios de ventanas de oficina u otras superficies con geometrías diversas.

En el caso de los vehículos, se podrían estudiar otros tipos de coches, descapotables, con vidrios tintados....También sería interesante efectuar el estudio en simulador solar y comparar las diferencias observadas con el estudio en campo.

Tanto en el caso de los muros como en el de los vehículos, se podría realizar un estudio más extenso en cuanto a la irradiancia diaria colocando radiómetros en las mismas posiciones en que se han situado los dosímetros, lo cual no ha sido posible efectuar en esta tesis debido a los problemas logísticos que ello conlleva.

Además, sería muy interesante evaluar la influencia de otro tipo de barreras físicas que pudieran ser igualmente significativas, como los edificios, las sombrillas de la playa, elementos del mobiliario urbano como marquesinas, etc.

BIBLIOGRAFÍA

Algaba, I.M. (2004). Protección ultravioleta proporcionada por los textiles: estudio de la influencia de las variables más significativas y aplicación de productos específicos para su mejora. UPC.

Ambach, W., M. Blumthaler y G. Wendler (1991). A comparison of ultraviolet radiation measured at an arctic and alpine site. *Solar Energy*, **47**, 12-126.

Bais, A.F., C.S. Zerefos, C. Meleti, I.C. Ziomas y K. Tourpali (1993). Spectral measurement of solar UVB radiation and its relations to total ozone, SO₂ and clouds. *Journal of Geophysical Research* **Vol. 98**, 5199-5204.

Bisset, D., D. Hannon, J. McBride y L. Patrick (1992). Photoaging of skin by UVA. *Biological Responses to Ultraviolet A Radiation*. Urbach, F. (ed) Valdenmar Publishing Co. Kansas, 181-188.

Blumthaler, M. (1993). Solar UV Measurements. *UV-B Radiation and Ozone Depletion, Effects on Humans, Animals, Plants, Microorganisms and Materials*, Tevini, M (ed) Lewis Publications, Boca Raton, 71-94.

Bothwell, M.L, D.M.J. Sherbot y C.M. Pollock (1994). *Ecosystem response to solar ultraviolet-B radiation: influence of trophic-level interactions*. *Science*, **265**, 97-100.

Calera, A., A. Barbero, Movimientos de la Tierra. Departamento de Física Aplicada. UCLM.

Cañada, J. (2004). Energía Solar Fototérmica. Departamento de Termodinámica Aplicada.

Casale, G.R. (2006). Assesment of solar UV exposure in the Italian population. Sapienza. Universidad de Roma.

CIE (Internacional Comisión on Illumination). Research Note 1987, A referente action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, CIE J. 6 (1987) 17-22.

Coulson, K.L. (1975). Solar and Terrestrial Radiation. *Academic Press*. New York.

Crommelynck, D. y A. Joukoff (1990). A simple algorithm for the estimation of the spectral radiation distribution on a horizontal surface based on global radiation. *Solar Energy*, **45**, 131-137

Dave, J.V. y P. Halpern (1976). Effect of changes in ozone amount on the ultraviolet radiation received at sea level of a model atmosphere. *Atmospheric Environment* **Vol. 10**, 547-555.

Davis, A. y D. Sims (1983). Weathering of polymers. *Applied Science Publication*. Essex, England

- Delre, L.C. y R.W. Miller (1995). Characterizaum of Weather Aging and Radiation Susceptibility. *Engineering Materials Handbook*, **Vol. 2**. ASM International. USA.
- De Luissi, J. (1997). Atmospheric Ultraviolet Radiation Scattering and Absortion. Solar Ultraviolet Radiation. NATO ASI Series 65-84. Springer. Berlin.
- Diffey, B.L. (1992). Stratospheric ozone depletion and the risk of non-melanoma skin cancer in a British population. *Phys. Med. Biol.* **37** (12) (1992), 2267-2279.
- Diffey, B.L. y J.L. Diffey (2002). Sun protection with trees. *Br. J. Dermatol.*, **147**, 397-399.
- Duarte, I., A. Rotter, A. Malvesti, M. Silva (2009). The role of glass as a barrier against the transmisión of ultraviolet radiation: an experimental study. *Photoderm. Photoinm Photomed.*, **25**, 181-184.
- Ellison, M.J. y J.D. Childs (1981). Pyrimidine dimers induced in escherichia coli DNA by ultraviolet radiation present in sunlight. *Photochemistry and Photobiology*, **34**, 465-469.
- Furusawa (1998), *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **50**, 597-603.
- Gardiner, B.G. (1997). Spectroradiometer Calibration Methods and Techniques. Solar Ultraviolet Radiation. NATO ASI Series 119-132. Springer. Berlin.
- Gerlock, J.L. y D.R. Bauer (1995). Photolytic Degradation. *Engineering Materials Handbook, Vol. 2 ASM International. USA*.
- Gies, Elix et. al. 2005) *Assessment of the UVR Protection provided by different Tree Species*).
- Gies, H.P., C.R. Roy y W. Zongli (1992). Ultraviolet radiation protection factors for clear and tinted automobile windscreens. *Rad. Prot. Aust.*, **10**, 91-94.
- Grant, R.H. (1997). Biologically active radiation in the vicinity of a single tree. *Photochem. Photobiol.*, **65**, 974-982.
- Grant, R.H. y G.M. Heisler (2005). Impact of cloud cover UVB exposure under tree canopies: Will climate change affect UVB exposure? *Agricultural and Forest Meteorology* 2005-07-07-RA-604R
- Grant, R.H. (1997). Biologically active radiation in the vicinity of a single tree. *Photochem. Photobiol.* **Vol.65**, 974-982.
- Grant, R.H., G.M. Heisler y W. Gao (2002). Estimation of pedestrian level UV exposure under trees. *Photochem. Photobiol.*, **74**, 369-376.
- Gurrea, G.** y J. Cañada (2007). Study of UV radiation dose received by the Spanish population. *Photochem. Photobiol.*, **83**, 1364-1370.

- Heisler, G.M., R.H. Grant, W. Gao (2003). Individual and scattered tree influences on ultraviolet irradiance. *Agricultural and Forest Meteorology*, **120**, 113-126.
- Hetah, D.F. (1988). Non seasonal changes in total column ozone from satellite observations, *Nature*, **332**, 219-227.
- Iqbal, M. (1983). An introduction to Solar Radiation. *Academic Press*.
- Kerr, J.B. y C.T. McElroy (1993). Evidence for large upwards trends of ultraviolet-B radiation linked to ozone depletion. *Science* **262**, 1032-12034.
- Kimlin, M.G. y A.V. Parisi (1998). Ultraviolet radiation penetrating vehicle glass: A field based comparative study. *Phys. Med. Biol.*, **44**, 917-926.
- Kimlin, M.G., A.V. Parisi, B.D. Carter y D. Turnbull (2002). Comparison of the solar spectral ultraviolet irradiance in motor vehicles with Windows in an open and closed position. *Int. J. Biometeorol*, **46**, 150-156.
- Kimlin, M.G., A.V. Parisi, B.D. Carter y D. Turnbull (2002b). Comparison of the solar spectral ultraviolet irradiance in motor vehicles with windows in an open and closed position. *Int. J. Biometerol.*, **46**, 150-156.
- Kondratyev, K.Y. (1969). Radiation in the atmosphere. *Academic Press*. New York
- Kudish, A.I. y A. Ianetz (1993). Analysis of diffuse radiation data for Beer Sheva: measured (shadow ring) versus calculated (global-horizontal beam) value. *Solar Energy*, **6**, 495-503.
- Lavker, R.M., G.F. Gerberik, D. Veres, C.J. Irwin, K.H: Kaidbey (1995). Cumulative effects from repeated exposures to suberythemal doses of UVB and UVA in human skin. *J. Am. Acad. Derm.*, **32**, 53-62.
- Lavker, R. y K. Kaidbey (1997). The spectral dependence for UVA induced cumulative damage in human skin. *J. Invest. Dermatol.*, **108**, 17-21.
- Lemus-Deschamps, L., L. Rikus y P. Gies (1999). The operacional Australian ultraviolet index forecast 1997. *Meteorol. Appl.* **Vol. 6**, 241-251.
- Lester, R. y A.V. Parisi (2002). Spectral ultraviolet albedo of roofing surfaces and human facial exposure. *Int. J. Env. Health Res.*, **12**, 75-81.
- Longstreth, J., F.R. de Gruijl, M.L. Kripke, S. Abseck, F. Arnold, H.I. Slaper, G. Velders, Y. Takizawa, J.C. van der Leun (1998). Health risks. *J. Photochemistry and Photobiology B. Biol.* **46**, 20-39.
- Lowe, N., D. Meyers y I. Scott (1995). Low doses of repetitive ultraviolet A induce morphologic changes in human skin. *J. Invest. Dermatol.*, **105**, 739-743.
- Maldronich, S. y S. Flocke (1997). Theoretical Estimation of Biologically Effective UV. Solar Ultraviolet Radiation. *NATO ASI Series* 23-48. Springer. Berlin.

- Maldronich, S., R.L. McKenzie, L.O. Bjorn y M.M. Caldwell (1998). Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* **Vol. 46**, 5-19.
- Martínez-Lozano, J.A., J.Casanovas y M. Utrillas (1994). Comparison of global ultraviolet (290-385 nm) and global irradiation measured during the warm season in Valencia, Spain. *International Journal of Climatology*, **14**, 93-102.
- Martínez, M.A. (2007). Modelos empíricos para la estimación de la irradiancia solar ultravioleta. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura*.
- McKenzie, R.L. (1991). Application of a simple model to calculate latitudinal and hemispheric differences in ultraviolet radiation. *Weather and Climate*, **11**, 3-14.
- Meleti, C. y F. Capellani (2000). Measurements of aerosol optical depth at Ispra: Análisis of the correlation with UV-B, UV-A and total solar irradiance. *J. Geophys. Res.* **Vol. 105 (D4)**, 4971-4978.
- Mims III, F.M. y J.E. Frederick (1994). Cumulus clouds and UV-B. *Nature*, **vol. 371**, 291.
- Moehrle, M. y C. Garbe (2000). Personal UV Dosimetry by Bacillus subtilis Spore Films. *Dermatology*, **200**, 1-5.
- Moehrle, M., M. Soballa, M. Korn (2003). UV exposure in cars. *Photod. Photoimmun. Photomed.*, **19**, 175-181.
- Nader, J.S. (1969). Pilot study of ultraviolet radiation in Los Angeles. The biological effects of ultraviolet radiation. Pergamon Pres.. New York.
- Parisi, A.V. y M.G. Kimlin (1999). Horizontal and sun-normal spectral biologically effective ultraviolet irradiances. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, **53**, 70-74.
- Parisi, A., M. Kimlin, J. Wong y M. Wilson (2000). Difuse component of solar ultraviolet radiation in the tree shade. *J. Photochemistry and Photobiology, B-Biol.*, **54**, 116-120.
- Parisi, A.V., M. G. Klimnlin, D. Turnbull, (2001). Spectral shade ratios on horizontal and sun normal surfaces for single trees and relatively cloud free sky. *J. Photochem Photobiol. B. Biol.* **65**, 151-156.
- Parisi, A.V., J. Sabburg y M.G. Kimlin (2004). Scattered and filtered solar UV measurements. Kluwer Academic Publishers.
- Parsons, P., R. Neale, P. Wolski y A. Green (1998). The shady side of solar protection. *Med. J. Aust.*, **168**, 327-330.

Pérez López, J.A. y M. Espigares Garcia (1993). Agujero de Ozono y Efecto Invernadero. Influencia en la salud y en el medio ambiente. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada. Granada.*

Quintern (1997). Description of the system (detector plus filter) and testing of various radiation sources (TL 12, TL 01, TL 09, TL 08), preliminary in vivo-comparisons Photochem. *Photobiol. B: Biology*, **37**, 158-166.

Reiter, R., K. Munzert y R. Sladkovic (1982). Results of 5-year concurrent recordings of global, diffuse and UV-radiation at three levels in the Northern Alps. *Arch. Met. Geophys. Biokl. Serie B* **30**, 1-28

Riordan, C.J., R.L. Hulstrom y D.R. Myers (1990). Influences of atmospheric conditions and air mass on the ratio of ultraviolet to total solar radiation, SERI/TP-215-3895. Goleen (Colorado)

Ruiz, V. (2008). Apuntes de radiación solar.

Sayre, I., J. Cano, M. Picot, J. Meynadier y L. Meunier (1997). Immunosuppression induced by acute solar simulated ultraviolet exposure in humans: prevention by a sunscreen with a sun protection factor of 15 and high UVA protection. *J. Am. Acad. Dermatol.*, **37**, 187-194.

Seckmeyer (1998) Intercomparison of various systems in a national intercomparison (double monochromators). Helsinki

Shettle, E.P. (1972). The transfer of near ultraviolet irradiances through smog over Los Angeles. *Atmospherical Environment*, **6**, 165-180.

Spinhirne, J.D. y A.E.S. Green (1978). Calculation of the relative influence of clouds layers on received ultraviolet and integrated solar radiation. *Atmos. Environm.*, **12**, 2249-2454.

Stamnes, K. (1993). The stratosphere as a modulator of ultraviolet radiation into the biosphere. *Surveys in Geophysics* **14**, 167-186.

Toumi, R., S. Bekki y K.S. Law (1994). Indirect influence of ozone depletion on climate forcing by clouds. *Nature*, **372**, 348-351.

Turner, J. y A.V. Parisi (2008). Measuring the influence of UV reflection from vertical metal surfaces on humans. *Photochem. & Photobiol. Sciences*, **8**, 62-69.

Vidal, A., J. Herrero y M. Romero (1994). Degradación fotocatalítica de microcontaminantes disueltos en agua con radiación solar, *VII Congreso Ibérico de Energía Solar. Vigo. España.*

Wang, S.Q., R. Setlow, M. Berwick, D. Polsky, A.A. Marghoob, A.A. Kopf, R.S. Bart (2001). Ultraviolet A and melanoma: a review. *J. Am. Acad. Dermatol.*, **44**, 837-846.

Wenny, B.N., V.K. Saxena y J.E. Frederick (2001). Aerosol optical depth measurements and their impact on surface levels of ultraviolet-B radiation. *Geophys. Res.*, **106**, 17311-17319.

WMO (1998). Report of the WMO-WHO meeting of experts on standarization of UV indices and their dissemination to the public *WMO-GAW report*, No. 127 (WMO TD No. 921), Geneva.

Webb, A.R., P. Weihs y M. Blumthaler (1999). Spectral UV irradiance on vertical surfaces: A case Study. *Photochemistry and Photobiology*, **69**, 464-470.

(<http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0313irradiance.html>)

(<http://pvcrom.pveducation.org/SUNLIGHT/Images/AM.GIF>).

(www.meteored.com)

(www.oni.escuelas.edu.com)

ANEXO A

En el presente Anexo se adjuntan dos artículos publicados en relación a los temas tratados en esta tesis

Study of UV Radiation Dose Received by the Spanish Population

Gonzalo Gurrea and Javier Cañada*

Departamento de Termodinámica Aplicada, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Spain

Received 19 January 2007; accepted 5 April 2007; DOI: 10.1111/j.1751-1097.2007.00170.x

ABSTRACT

Excess exposure to UV radiation can affect our health by causing sunburn, skin cancer, etc. It is therefore useful to determine the UV dosage received by people as a way of protecting them from the possible negative effects that this kind of radiation can cause. In this work, the personal outdoor percentage, which shows the time spent in outdoor activities, as well as personal UV doses, has been calculated by means of global UV radiation on a horizontal plane. A database of average daily UVB radiation on the horizontal plane given by the National Institute of Meteorology has been used. In this work we evaluate the standard erythema dose of the Spanish population throughout the year.

INTRODUCTION

UV radiation affects human health. Several studies have concluded that there is a direct relation between UV exposure and development of sunburn, tanning, skin cancers, genetic mutations, immune suppression, accelerated skin aging and cataracts (1–5). It also has positive effects, like the production of vitamin D₃, but this occurs even with minimal UV exposure (6).

On examining the wavelength spectrum of UV radiation (7) reaching the earth (280–400 nm), we find UVB (280–315 nm) to be primarily responsible for these biological effects (8). The longer wavelengths like UVA (315–400 nm) also make a contribution, but usually to a lesser degree. Because of the fact that UV exposure is mainly harmful to humans, and can be deadly, it is important to know the dosage that people receive during each year of their lives.

These doses can be reduced by using sunscreens. However, laboratory conditions used to calculate protection factors are not very realistic, because people apply considerably lesser amounts than in laboratory tests (9–11).

Moreover, the mistaken belief that only young people (<18 years old) are at risk from excessive solar exposure has created a false sense of security in adults, who do not believe that they are at risk. However, nonmelanoma skin cancers have been correlated with accumulated lifetime UV exposure. For this reason, caution in the amount of exposure to UV rays should be taken not only by young people, as happens nowadays, but by the elderly also, because every one of us is exposed to the negative effects of radiation on our health.

The bibliography includes references to various studies on UV doses in Holland, England, Sweden, the United States, Denmark and Australia (12–17). However, no study exists on UV dosage in Spain. As we have said, it is useful to know the UV dose as a way of preventing people from the possible negative effects that this can cause, especially in a country like Spain, which receives high levels of UV radiation throughout the year because of its geographic location.

To calculate UV doses by statistical methods, it is necessary to know people's behavior so as to calculate the outdoor daylight period and the amount of radiation received. This information has been obtained by using the results of a detailed survey made by the National Institute of Statistics (INE) (18) throughout the country. In this survey, a diary of activities was completed by a sample of the population (over the age of 10 years), who gave details of the time spent in each activity during the 24 h of a typical day. From this extensive information only the time spent in outdoor activities has been used in this work and the results have been classified by 3-monthly periods, sex and age.

The other information necessary for the study is the UVB radiation received on a horizontal plane. It is known that this UVB radiation depends on several factors, such as solar zenith angle, time of the day, period of year, latitude, altitude and cloud cover. For this reason we used daily average values of the erythemally effective UVB radiation in J m^{-2} on the horizontal plane, as given by the Spanish National Institute of Meteorology (INM), recorded at 14 different cities in Spain (Madrid, Barcelona, Valencia, Ciudad Real, Murcia, Palma, Maspalomas, Zaragoza, Badajoz, Valladolid, Granada, Málaga, Santander and La Coruña). It was therefore possible to compare the results according to the different geographic parameters of each city, which is an important aspect with a high influence on UV radiation received on the surface. The period of time in which measurements were taken was from 2000 to 2005. By standardizing the Spanish outdoor daylight-time percentage (13.9%) with the average personal outdoor percentage obtained in other countries, such as Germany or England (3%), we calculated that Spanish people are exposed to 21.5% of the total UV radiation when they are outdoors. When this percentage was known, we calculated the personal outdoor percentage and its dependence on age, sex and season. Finally, to obtain the UV doses, we multiplied the personal outdoor percentage by the total available UV radiation on a horizontal plane for each season of the year.

The aim of the study was to evaluate the effects of UVB radiation on Spanish people's health by analyzing the doses received by the subjects in the course of a year (19,20).

*Corresponding author: email: jcanada@tar.upv.es (Javier Cañada)
© 2007 The Authors. Journal compilation © 2007 The American Society of Photobiology 0031-4655/07

MATERIALS AND METHODS

Time spent in outdoor activities. To calculate the time spent on outdoor activities, we made use of the "Survey on the Use of Time 2002-2003" carried out by the INE throughout the Spanish territory from 7 October 2002 to 5 October 2003, which was a study of about 24 000 Spanish households. All subjects were over 10 years of age and had to complete a questionnaire. People living in institutions such as hospitals, convents and jails were excluded from the survey. The results provided information on the percentage of people performing a specific activity during the day and the time they devoted to it. The methodology was based on completing an "activity diary" taking a complete day (24 h divided into 10-min periods) as a reference.

From the activities included in the survey, we selected those that involved outdoor activities, such as "Sports and Outdoor Activities," "Entertainment and Culture," "Passive Leisure Time" and "Gardening and Taking Care of Animals." The results referring to "Time Spent in Outdoor Activities" refer to the whole Spanish population.

Table 1 shows time in minutes devoted to outdoor activities according to sex and age (0-24, 25-44, 45-64 and >65 years old). It can be observed that, on average, men spend about 709.5 h year⁻¹ in outdoor activities and women 509.4 h. This means that, on average, each person spends about 36 570 min per year on outdoor activities (almost 610 h year⁻¹).

Percentage of total UV radiation exposure experienced by individuals. According to Godar *et al.* (15), we start by calculating the percentage of outdoor daylight-time, P , as:

$$P(\%) = \frac{T_o}{H_s} \times 100 \quad (1)$$

where P is the percentage of outdoor daylight-time, T_o the average annual time devoted to outdoor activities (min) and H_s the annual solar hours (sunrise to sunset).

The value of H_s has been estimated taking the average number of solar hours in a day as: first quarter (30 h sun day⁻¹) by 90 days gives 54 000 min; second quarter (12 h sun day⁻¹) by 91 days, 65 520 min; third quarter (14 h sun day⁻¹) by 92 days, 77 280 min, and in fourth quarter (12 h sun day⁻¹) by 92 days, 66 240 min. The total average minutes of sun in 1 year is therefore 26 3040 min.

Using these values in (Eq. 1), we find that the percentage of time spent in outdoor activities is

$$P(\%) = \frac{36570}{263040} \times 100 = 13.9\%$$

However, this percentage is significantly reduced owing to the existence of shadows, trees, buildings and other structures, which considerably reduce the UV radiation received by the population. In order to obtain the real percentage, we calculate the so-called personal outdoor percentage (P_{po}) as:

$$P_{po} = \frac{E_{uv}}{R_{uv}} \times 100 \quad (2)$$

where E_{uv} is the personal exposure to UV radiation and R_{uv} the total UV radiation on a horizontal plane.

The percentage of time in outdoor activities and the P_{po} (Eqs. 1 and 2) are proportional, so

$$PC = \frac{E_{uv}}{R_{uv}} \times 100 \quad (3)$$

C being the proportionality constant.

From forward analysis and studies made in other countries like Holland (12) and England (13), a percentage of personal exposure was obtained of about 3%, and so people receive about 3% of total UV radiation on the horizontal plane (15). If we assume a value of 13.9% for Spanish people, we obtain a value for C (proportionality constant) that gives the percentage of total UV radiation received by a person while engaged in outdoor activities of

$$C = \frac{3}{13.9} \times 100 = 21.5\%$$

This means that, on average, Spanish people are exposed to 21.5% of total UV radiation on the horizontal plane when outdoors.

Personal outdoor percentage (P_{po}). As can be deduced by (Eq. 3) P_{po} can be calculated as:

$$P_{po}(\%) = PC = \frac{T_o C}{H_s} \times 100 \quad (4)$$

Therefore, according to time spent on outdoor activities (Table 1), we obtain the personal outdoor percentage as shown in Table 2, which is significantly lower than that calculated by (Eq. 1), owing to the aforementioned effect of shadows and buildings.

Table 2 shows this value by sex, age and period of the year.

Average erythemal UVB irradiance received in Spain per quarter. For each of the 14 cities studied, we have geographic data related to altitude, latitude and longitude and also data on the erythemally effective UVB radiation accumulated daily on a horizontal plane (16) (Fig. 1 and Table 3). The erythemal UVER irradiance data were measured, by the INM, by using a VES (Yankee Environment Systems) UVB-1 radiometer. Its spectral response covers basically the range from 280 to 400 nm, but it has been designed to have a spectral sensitivity close to the erythemal action spectrum and it has a cosine response of less than $\pm 5\%$ for 0-60° zenith angle. Therefore, it is possible to obtain, as shown in Table 4, the average values of erythemally effective UVB radiation received in each city per quarter.

Annual UV doses received by Spanish people. By using the data calculated in the previous paragraph, the personal quarterly erythema UVB dose (DUV) is:

Table 1. Average time spent in outdoor activities (min).

	0-24	25-44	45-64	>65	Average
Men					
First term	7288	6114	9010	15 616	9507
Second term	8155	6856	10 028	17 366	10 601
Third term	9462	7946	11 556	19 997	12 240
Fourth term	7812	6566	9704	16 827	10 227
Total	32 717	27 482	40 297	69 806	
Average	42 575				
Women					
First term	5873	5111	6614	8718	6579
Second term	7296	6309	8077	10 659	8085
Third term	8283	7160	9103	12 150	9174
Fourth term	5990	5221	6743	8955	6727
Total	27 442	23 801	30 536	40 482	
Average	30 565				

Table 2. Personal outdoor percentage (%).

	0-24	25-44	45-64	>65	Average
Men					
First quarter	2.91	2.44	3.60	6.24	3.80
Second quarter	2.69	2.26	3.30	5.72	3.49
Third quarter	2.64	2.22	3.23	5.58	3.42
Fourth quarter	2.54	2.14	3.16	5.48	3.33
Average/age	2.70	2.26	3.32	5.76	
Annual average	3.51				
Women					
First quarter	2.35	2.04	2.64	3.48	2.63
Second quarter	2.40	2.08	2.66	3.51	2.66
Third quarter	2.31	2.00	2.54	3.39	2.56
Fourth quarter	1.95	1.70	2.20	2.92	2.19
Average/age	2.25	1.95	2.51	3.33	
Annual average	2.51				



Figure 1. Geographic location of cities studied.

Table 3. Altitude, latitude and longitude of cities involved in the study.

City	Altitude (m)	Latitude (°)	Longitude (°)
Maspalomas	50	27.5 N	15.4 W
Málaga	40	36.7 N	4.3 W
Granada	775	37.2 N	3.4 W
Murcia	42	38.0 N	1.1 W
Badajoz	186	38.9 N	6.6 W
Ciudad Real	628	39.0 N	3.5 W
Palma	13	39.4 N	2.4 E
Valencia	10	39.5 N	0.2 W
Madrid	667	40.4 N	3.4 W
Barcelona	95	41.4 N	2.1 E
Zaragoza	200	41.7 N	0.5 W
Valladolid	694	41.7 N	4.4 W
Santander	40	43.3 N	3.5 W
La Coruña	54	43.4 N	8.2 W

Table 4. Average erythemally effective UVB radiation per quarter ($J m^{-2}$).

	Irradiation ($J m^{-2}$)						
	Maspalomas	Málaga	Granada	Murcia	Badajoz	C. Real	Palma
First quarter	240 380	121 562	133 240	123 246	117 233	122 814	105 691
Second quarter	432 714	340 698	391 405	361 639	384 080	378 115	336 355
Third quarter	442 303	344 347	402 856	358 142	381 913	392 206	322 882
Fourth quarter	196 122	107 952	114 457	104 468	92 647	99 380	87 151
Annual total	1 311 519	914 519	1 041 958	947 495	975 873	992 515	852 079
	Valencia	Madrid	Barcelona	Zaragoza	Valladolid	Santander	Coruña
First quarter	95 020	105 343	95 092	104 256	98 985	80 911	82 081
Second quarter	301 649	351 806	310 628	348 523	347 744	289 531	292 371
Third quarter	290 593	374 850	300 606	348 239	355 639	300 102	302 472
Fourth quarter	78 486	85 275	76 426	82 496	75 933	52 010	62 427
Annual total	765 749	916 974	762 753	883 514	878 300	722 554	739 351

$$DUV = \frac{P_{pe}}{100} \times UVB \quad (5)$$

where P_{pe} is the personal outdoor percentage (%) and UVB the average UVB radiation received in a city, per quarter ($kJ m^{-2}$) (values from Table 4).

Tables 5-7 show the results ($J m^{-2}$) by sex and age in various of the cities of the study, whereas Table 8 shows the global results for the 14 cities.

RESULTS

First, we will analyze the P_{pe} and its relation to age and sex. As we have said before, this parameter shows the percentage of UV radiation received by a person from the total UV radiation available on a horizontal plane. We can see in Table 2 that women have an average percentage of 2.51%, while men have 3.51%. We also find that for women there is stability in the value of this percentage (1.95-3.32%), while for men there is a sudden increase for different age groups (2.26-5.76%). Finally, it is important to emphasize that the lowest percentage in the cases of men (2.26%) and women (1.95%) is given for the 25- to 44-year-old group and the highest for both sexes is given in the masculine group of > 65 years old (5.76%).

Table 5. Erythemally effective UVB radiation dose received by people in Valencia ($J m^{-2}$).

	0-24	25-44	45-64	> 65	Average
Men					
First quarter	2767	2322	3421	5929	3610
Second quarter	8102	6811	9962	17 252	10 532
Third quarter	7677	6448	9377	16 225	9932
Fourth quarter	1997	1679	2481	4302	2615
Total	20 543	17 258	25 240	43 709	6672
Average	26 688				
Women					
First quarter	2230	1941	2511	3310	2498
Second quarter	7248	6267	8024	10 589	8032
Third quarter	6720	5810	7386	9859	7444
Fourth quarter	1531	1335	1724	2290	1720
Total	17 730	15 352	19 645	26 047	4923
Average	19 694				

Table 6. Erythemally effective UVB radiation dose received by people in La Coruña ($J m^{-2}$).

	0-34	25-44	45-64	>65	Average
Men					
First quarter	2390	2005	2935	5122	3118
Second quarter	7852	6601	9656	16 721	10 208
Third quarter	7991	6711	9760	16 889	10 338
Fourth quarter	1589	1335	1973	3422	2080
Total	19 823	16 653	24 344	42 154	6436
Average	25 743				
Women					
First quarter	1926	1676	2169	2859	2158
Second quarter	7025	6074	7777	10 263	7785
Third quarter	6995	6047	7688	10 262	7748
Fourth quarter	1218	1062	1371	1821	1368
Total	17 165	14 860	19 005	25 205	4765
Average	19 059				

Figure 2 gives the personal outdoor percentage according to period of the year and sex. Spain is a country with a very mild climate. In general, there are not many extreme differences in temperature during the year; because of this, the value of the percentage for both men and women is almost constant throughout the year, with a slight decrease in the fourth quarter (October, November and December) and a slight increase in the spring and summer period for both sexes.

Despite the fact that personal outdoor percentage is the same in the cities considered, we can see a higher value of UVB

Table 7. Erythemally effective UVB radiation dose received by people in Palma ($J m^{-2}$).

	0-34	25-44	45-64	>65	Average
Men					
First quarter	3078	2582	3805	6595	4015
Second quarter	9034	7994	11 108	19 237	11 743
Third quarter	8530	7364	10 438	18 028	11 035
Fourth quarter	2218	1864	2755	4777	2904
Total	22 860	19 204	28 086	48 638	7424
Average	29 697				
Women					
First quarter	2481	2159	2793	3682	2779
Second quarter	8082	6988	8947	11 807	8956
Third quarter	7467	6455	8207	10 954	8271
Fourth quarter	1701	1482	1934	2542	1910
Total	19 730	17 084	21 861	28 985	5479
Average	21 915				

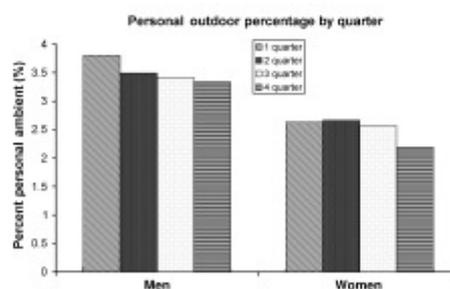
doses at lower latitudes. This happens with people living in the southern cities of Spain (Valencia, Ciudad Real, Murcia, Palma, Maspalomas, Badajoz, Granada and Málaga) (Table 9 and Fig. 3). We therefore find that for southern men the average annual UV dose has a value of $34 kJ m^{-2}$ (340 standard erythema dose [SED]), while for men living in the more northerly cities of Spain (Madrid, Barcelona, Santander, Zaragoza, Valladolid and La Coruña) the value is $29 kJ m^{-2}$ (290 SED), 19% lower. The SED is defined as $1 SED = 100 J m^{-2}$ (21).

Exactly the same happens in the case of southern women, who receive average annual UV doses of $25 kJ m^{-2}$ (250 SED), while northern women receive about $21 kJ m^{-2}$ (210 SED), which is 15% lower.

In some cases there is no linear dependence, because, besides latitude, there are other parameters like altitude that affect the UV radiation received on the surface. The higher the altitude, the higher the UV radiation.

In Fig. 4 we can observe the similar pattern followed by annual UV doses according to age in both men and women in every city. We should note that the highest value is given in the case of men older than 65, while the lowest dose is for women from 25 to 44. The highest dose for Spanish people corresponds to men older than 65 living in Maspalomas ($75.19 kJ m^{-2}$), while the lowest is for women of the 25-44 age group living in Santander ($14.55 kJ m^{-2}$).

Finally, Fig. 5 shows the annual UV dose according to quarter and sex. In this case we can observe the strong influence on the dose of the period of the year. In every city the highest dose in both men and women is received in the second and third quarter and shows a considerable difference in

**Figure 2.** Personal outdoor percentage by quarter.**Table 8.** Erythemally effective UVB radiation dose received by people in all cities studied ($J m^{-2}$).

	Average annual doses ($J m^{-2}$)						
	Maspalomas	Málaga	Granada	Murcia	Badajoz	C. Real	Palma
Men	45 890	31 878	36 309	33 029	34 002	34 582	29 697
Women	33 469	23 453	26 752	24 333	25 122	25 521	21 915
	Valencia	Madrid	Barcelona	Zaragoza	Valladolid	Santander	Coruña
Men	26 688	31 926	27 278	30 779	30 586	25 172	25 743
Women	19 694	23 600	20 146	22 749	22 635	18 663	19 059

Table 9. Comparison of erythemally effective UV dose ($J m^{-2}$) received in different cities

City	Average annual UV doses ($J m^{-2}$)
Maspalomas	39 679
Málaga	27 665
Granada	31 530
Murcia	28 681
Badajoz	29 562
Ciudad Real	30 052
Palma	25 806
Valencia	23 191
Madrid	27 763
Barcelona	23 712
Zaragoza	26 764
Valladolid	26 611
Santander	21 917
La Coruña	22 401

comparison with the winter months (first and fourth quarter), as is to be expected.

CONCLUSIONS

The P_{pe} and annual UV doses in men and women were analysed for 14 cities, representing a considerable area of Spanish territory, according to age and period of the year.

We obtained average annual UV erythema dose of $27.2 kJ m^{-2}$ (272 SED) for a Spanish person, $31.3 kJ m^{-2}$ (313 SED) in the case of men and $23.1 kJ m^{-2}$ (231 SED) for women.

The reason for the lower value in the case of women is due to the fact that they spend less time in outdoor activities than men, as can be deduced from the INE data, which is presented in Table 1.

Considerable differences can be observed in doses according to geographic location. In fact, people living in southern cities at lower latitudes receive doses about 20% higher than people

living in northern cities. For example, the inhabitants of Maspalomas receive annually almost double the UV dose of people from Santander.

A linear increase is observed in women's UV dose throughout their lives (except in the 25–44 age group). However, in men the linear model changes after the age of 45 years, when the rate of increase accelerates. This is due to the fact that from this age there is an important difference in time spent in outdoor activities for both men and women. When studying the UV dose according to period of the year, we observe in both men and women that the highest values occur in April, May and June, while the lowest values are observed in October, November and December. It is also important to underline that for different ages, the UV dose according to the quarterly model follows a very similar pattern in both men and women, except in groups of men older than 45, who have comparatively higher dose values.

The annual average UV dose received in Spain is about $27 200 J m^{-2}$ (272 SED), while in the United States it is about $25 000 J m^{-2}$ (250 SED) (15) and in Holland around $12 500 J m^{-2}$ (125 SED) (12).

From the INE data, adults older than 45 spend most time in outdoor activities, and so receive the highest UV dose, more than children and adolescents. One reason may be the effects of recent technological changes on society. Introduction of new technologies (computers, Internet, video games) has radically changed leisure time in young people, who now spend more time on indoor activities. As a potential area of future study we could mention which indoor or outdoor activities are most popular or a more detailed study of variation in UVR exposure among groups (perhaps monthly, daily or hourly variation).

Thus, we have to educate not only children and adolescents, but also the older generation in order to protect them from the negative effects of UV radiation (both UVA and UVB because on a daily basis they induce the same amount of DNA damage according to the most recent data from the molecular biology) especially in the summer.

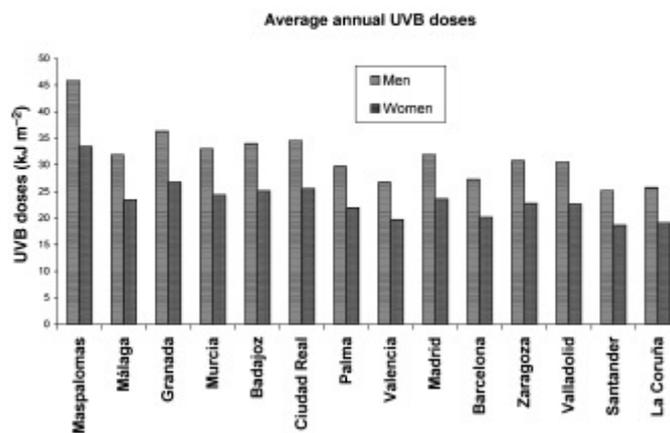


Figure 3. Average annual erythemally effective UVB doses by sex ($kJ m^{-2}$).

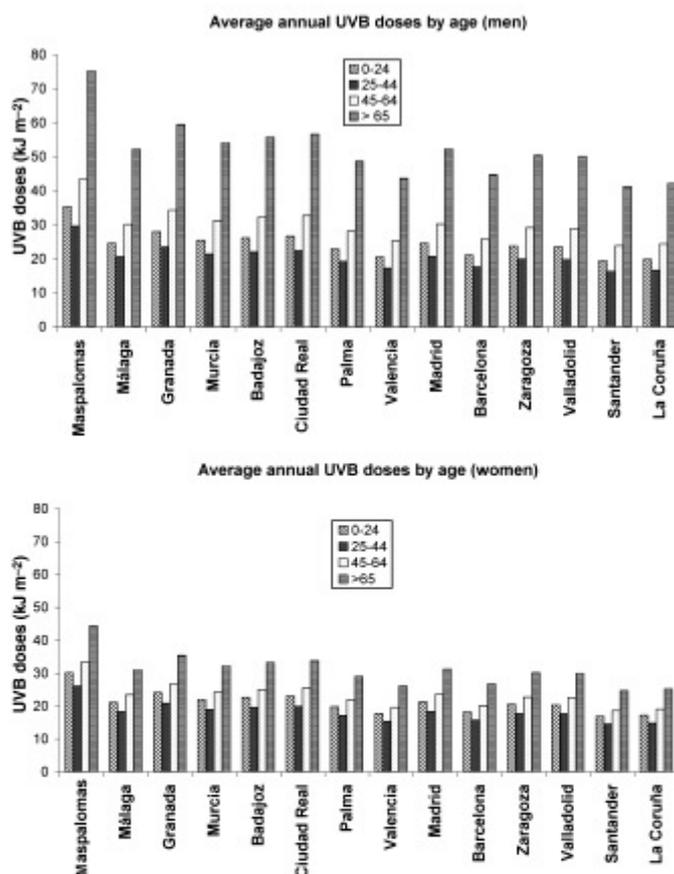


Figure 4 Average annual erythemally effective UVB doses by age (kJ m^{-2}).

Acknowledgements—We would like to thank the R&D+i Linguistic Assistance Office at the Universidad Politécnica de Valencia for their help in revising and correcting this paper.

REFERENCES

- Urbach, F. (1991) Incidence of non-melanoma skin cancer. *Dermatol. Clin.* **9**, 751–755.
- Elwood, J. M. and J. L. Jopson (1997) Melanoma and sun exposure: An overview of published studies. *Int. J. Cancer* **73**, 198–209.
- Vink, A. A., D. B. Yarosh and M. L. Kripke (1996) Chromophore for UV-induced immunosuppression: DNA. *Photochem. Photobiol.* **63**, 383–386.
- Pitts, D. G., A. P. Cullen and P. D. Hacker (1977) Ocular effects of ultraviolet radiation from 295 to 365 nm. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* **16**, 932–939.
- Slaney, D. H. (1994) Epidemiological studies of sunlight and cataract: The critical factor of ultraviolet exposure geometry. *Ophthalmic Epidemiol.* **1**, 107–119.
- Holick, M. F., J. A. MacLaughlin, M. B. Clark, S. A. Holick, J. T. Porto Jr, R. R. Anderson, I. H. Blank, J. A. Parrish and P. Elias (1980) Photosynthesis of pre-vitamin D₃ in human skin and the physiological consequences. *Science* **210**, 203–205.
- Diffey, B. L. (2002) What is light? *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* **18**, 65–74.
- Godar, D. E., S. A. Miller and D. P. Thomas (1994) Immediate and delayed apoptotic cell death mechanisms: UVA versus UVB and UVC radiation. *Cell Death Differ.* **1**, 59–66.
- Daniels, F., Jr, J. C. Van der Leun and B. E. Johnson (1968) Sunburn. *Sci. Am.* July, 38–46.
- Barguil, S. C. and L. K. Erdman (1993) Safe tan. An oxymoron. *Cancer Nurs.* **16**, 139–144.

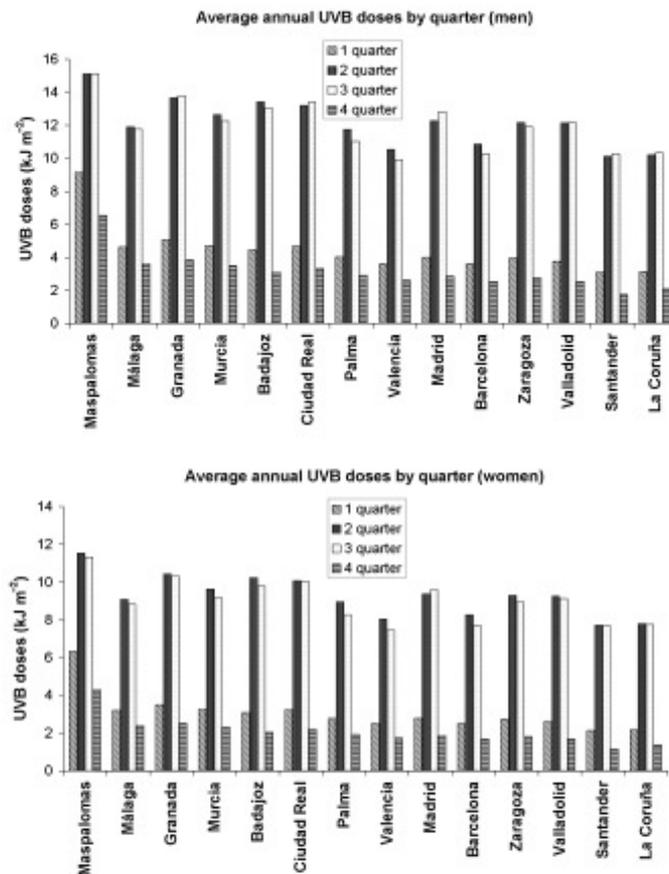


Figure 5. Average annual erythemally effective UVB doses by quarter (kJ m^{-2}).

- Ley, R. D. and V. E. Reeves (1998) Chemoprevention of ultraviolet radiation-induced skin cancer. *Environ. Health Perspect.* **105**, 981-984.
- Slaper, H. (1987) Skin cancer and UV exposure. Investigations on the estimation of risks. Ph.D. dissertation, University of Utrecht, 2, 24-28.
- Leach, J. F. (1978) Measurements of the ultraviolet doses received by office workers. *Clin. Exp. Dermatol.* **3**, 77-79.
- Larko, O. and B. Diffey (1983) Natural UV-B radiation received by people with outdoor, indoor and mixed occupations and UV-B treatment of psoriasis. *Clin. Exp. Dermatol.* **8**, 279-285.
- Godar, D. E., S. P. Wengraitis, J. Sheffler and D. H. Slaney (2001) UV doses of Americans. *Photochem. Photobiol.* **73**(6), 621-629.
- Thieden, E. and H. C. Wulf (2000) The wrist is a reliable body site for personal dosimetry of ultraviolet radiation. *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* **16**, 57-61.
- Parisi, A. V., L. R. Meldrum, J. C. F. Wong, J. Altken and R. A. Fleming (2000) Effect of childhood and adolescent ultraviolet exposures on cumulative exposure in South East Queensland schools. *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.* **16**, 19-24.
- INE (National Institute of Statistics) (2002-2003) Encuesta de empleo del tiempo. <http://www.ine.es/daco/daco42/empleo/daco42.htm>. Accessed on 8 June 2007.
- Castaneda, J. P., V. Lepe, A. Gordillo and B. Moncada (2003) Dosis de radiación ultravioleta en escolares mexicanos. *Salud Pública México* **45**, 439-444.
- Longstaeth, J., F. R. de Gruijl, M. L. Kripke, S. Abbeck, F. Arnold, H. I. Slaper, G. Velders, Y. Takizawa and J. C. van der Leun (1998) Health risks. *J. Photochem. Photobiol.* **46**, 20-39.
- Commission International de l'Eclairage (CIE) (1998) *CIE reference action spectrum and standard erythema dose, CIE Standard S007-1998*. CIE, Vienna.

Análisis de las Barreras Físicas como protección frente a la Radiación Solar Ultravioleta

J. C. Moreno Esteve¹, G. Gurrea Ysasi³, J. Cañada Ribera²,
M. A. Serrano Jarreño¹ y M. Lorente Peiró¹

¹ Dpto. de Física Aplicada, Universidad Politécnica de Valencia; jcmestev@fis.upv.es.

² Dpto. de Termodinámica Aplicada, Universidad Politécnica de Valencia.

³ Instituto de Tecnología Eléctrica, Av. Juan de la Cierva 24, Parque Tecnológico de Valencia, 46980 Paterna.

La vida en la Tierra depende fundamentalmente de la radiación solar. Sin embargo, la radiación ultravioleta (280-400 nm) puede producir a nivel de la piel, quemaduras, cáncer cutáneo, y fotoenvejecimiento. A nivel de los ojos, fotoqueratitis, conjuntivitis y melanoma ocular. Todos los efectos biológicos se cuantifican mediante sus espectros de acción con los que se obtiene una medida del suceso en función de la longitud de onda de la radiación que lo induce. La quemadura solar o eritema es la consecuencia más común de la exposición humana a la radiación UV. Su espectro de acción, o respuesta de la piel frente a la radiación, muestra un valor máximo a 297 nm. La Comisión Internationale de l'Eclairage (CIE) acordó en 1987 la Curva Patrón de Eritema, la cual presenta valores máximos en la banda UVB (280-320 nm) y valores exponenciales decrecientes en la banda UVA (320-400 nm).

Para evitar los daños, es necesario minimizar la exposición de la piel y ojos a la radiación UV. Al respecto, diversos autores han desarrollado estudios de barreras físicas o sombras; por ejemplo, Parisi *et al.* (2001), analizaron el grado de protección de las sombras de árboles en ciertas etapas del año. Turnbull *et al.* (2005), investigaron la protección de estructuras como sombrillas de playa, de terrazas y cubiertas de paso de peatones. Grifoni *et al.* (2005) examinaron la radiación solar en verano, sobre una playa del Mediterráneo (Italia), e investigaron la protección de la sombrilla de playa.

El objetivo de este trabajo es comparar las eficiencias de la sombrilla de playa, árbol y edificio, respecto a la radiación solar Ultravioleta Eritemática (UVER), considerando la eficiencia como radiación bloqueada por la barrera física.

Las medidas se han realizado en una playa de Valencia, y en el campus de la Universidad Politécnica (árbol y edificio), en febrero de 2007, escogiendo días claros, con un total de seis días. La playa forma parte del Golfo de Valencia, y tiene orientación Este. Su suelo es arenoso de aproximadamente dos kilómetros de longitud y 200 m de anchura. Carece de edificios elevados en las proximidades y es limítrofe por el Sur con el puerto de Valencia. Como barrera física a la radiación se utilizó una sombrilla de playa de 2.03 m de diámetro y 1.2 m de altura. La radiación UVER se mide utilizando dos sensores Solar Light modelo PMA 2120 (280-315 nm) conectados a un datalogger modelo PMA 2100. Dichos sensores se colocan en tripodes a una altura de 0.4 m con respecto al suelo. Las medidas de irradiancia ($\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) se realizaron cada minuto desde las 10:30 a las 17:30 en dos tandas simultáneas con y sin sombra. El procedimiento experimental consiste en colocar uno de los sensores al sol y a 4 m de la sombrilla. El otro sensor se utiliza para obtener las medidas en el centro de la sombra proyectada por la sombrilla. Las medidas realizadas utilizando como barrera física el árbol y el edificio, consistieron en situar un sensor expuesto al sol y otro sensor junto al tronco y a la sombra en el caso del árbol, y en el centro de la sombra en el caso del edificio. Las posiciones de los sensores se modificaban, de forma manual cada cinco minutos alternativamente según dos planos: horizontal, y vertical.

Las eficiencias en función de la hora del día, mostraron los siguientes resultados: Con el sensor en plano horizontal las eficiencias más elevadas corresponden al árbol, siendo iguales las de la sombrilla y el edificio. Con el sensor en plano vertical, las eficiencias son superiores respecto a las eficiencias con el sensor en horizontal, para las tres barreras físicas. También se observa una eficiencia superior del árbol respecto a la sombrilla y edificio.

En la tabla 1 se muestran los valores medios y desviaciones típicas de dichas eficiencias (en %). El incremento en porcentaje de la eficiencia del árbol respecto a las otras barreras, es de 30% con el sensor en posición horizontal, y el 15% en posición vertical.

La desviación típica de los valores de la eficiencia, es más elevada en el árbol con el sensor sobre plano horizontal (50% respecto a los homólogos de sombrilla y edificio). Sin embargo, la desviación típica de los valores correspondientes al plano vertical, es más elevada en la sombrilla (14% y 24% respecto al árbol y edificio).

	Posición del sensor	Sombrilla (%)	Árbol (%)	Edificio (%)
Media	horizontal	29.12	41.27	26.10
	vertical	58.50	67.93	56.91
Desv. Típica	horizontal	13.60	21.43	10.03
	vertical	13.84	11.82	10.52
Coef. Variación	horizontal	0.47	0.52	0.39
	vertical	0.24	0.17	0.19

Tabla 1. Media aritmética y desviaciones típicas de las eficiencias de la sombrilla de playa, árbol y edificio.

La dispersión de los valores de eficiencia, es superior con el sensor en plano horizontal respecto a la orientación vertical, con incrementos del 67%, 49% y 51% para el árbol, sombrilla, y edificio respectivamente. Con el sensor sobre plano vertical el coeficiente de variación es el menor en comparación a las otras barreras, mientras que sucede lo contrario cuando el sensor está sobre el plano horizontal.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación económica del proyecto G.V. O4B/409 de la Generalitat Valenciana de título: "Estudio de las Eficiencias de las Barreras Físicas frente a la radiación ultravioleta".

Referencias

- [1] Parisi AV, Wong JCF, Kimlin MG, Turnbull D, Lester R. Comparison between seasons of the ultraviolet environment in the shade of trees in Australia. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2001, 17, p.55-59.
- [2] Turnbull DJ, Parisi AV. Increasing the ultraviolet protection provided by shade structures. *J Photochem Photobiol B, Biol* 2005, 78, 61-67.
- [3] Grifoni D, Carreras G, Sabatini F, Zipoli G. UV hazard on a summer's day under Mediterranean conditions, and the protective role of a beach umbrella. *Int J Biometeorol* 2005, 50, 75-82.

