

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de la Energía

Estimación de la distribución espectral de la radiación solar en función de las condiciones del emplazamiento

Autor: Guillermo de Santos López

Tutor: Jose María Delgado Sánchez

Isidoro Lillo Bravo

Departamento de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Estimación de la distribución espectral de la radiación solar en función de
las condiciones del emplazamiento

Autor:

Guillermo de Santos López

Tutor:

Jose María Delgado Sánchez

Isidoro Lillo Bravo

Departamento de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Estimación de la distribución espectral de la radiación solar en función de las condiciones del emplazamiento

Autor: Guillermo de Santos López

Tutor: Jose María Delgado Sánchez
Isidoro Lillo Bravo

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Agradecimientos

Quiero dar las gracias en primer lugar a mi familia, la cual ha estado siempre a mi lado apoyándome, no desde que empecé la carrera de ingeniería sino desde mucho antes. Sin el esfuerzo incondicional de mis padres para que sus hijos se formaran en la profesión que ellos eligiesen, nada de esto hubiera sido posible.

Deseo dedicar este trabajo también a mis compañeros y amigos hallados durante estos años en la facultad, ellos son mi principal fuente de buenos recuerdos vividos durante esta etapa y no puedo hacer más que agradecerles cada experiencia juntos y desear que nuestros caminos no nos alejen.

Por último, quiero agradecer el trabajo de aquellos profesores tan magníficos que me han hecho empezar a comprender el mundo de la energía, han logrado motivarme a seguir este viaje con todas las herramientas que me han dado y que me servirán sin duda en un futuro.

Guillermo de Santos López

Sevilla, 2019

Resumen

El objeto de este proyecto es el análisis de los diferentes componentes atmosféricos y cuáles son sus zonas de actuación espectrales para así lograr estimar el espectro solar en un determinado emplazamiento. En una primera parte se analiza la situación energética actual y la urgente necesidad de un sistema energético sostenible ante los problemas medioambientales presentes. Son establecidos también los conocimientos básicos de la radiación y los fenómenos que intervienen en su paso por la atmósfera: la absorción, dispersión y reflexión atmosférica.

En una segunda parte se estudian los diferentes componentes que intervienen en los fenómenos de atenuación, desde cuál es su efecto y en qué longitudes de onda del espectro a cómo es su distribución real a lo largo de la atmósfera terrestre. También se ven qué modelos se pueden utilizar para estimar la actuación de cada componente y los parámetros necesarios para poder aplicarlos según el emplazamiento.

Por último, se llevan a la práctica los diferentes modelos en tres emplazamientos diferentes: Padang, Alice Spring y Pekín. Estos lugares han sido seleccionados por la notable diferencia entre las atmósferas que poseen y sus climas: tropical, desértico o árido y continental respectivamente. Gracias al estudio bibliográfico previo se pueden estimar los datos que representan a la atmósfera más característica de cada emplazamiento, y con los modelos es posible estimar la distribución espectral, habiendo definido también la transmitancia total atmosférica y de cada componente de forma individual.

Finalmente es posible establecer una serie de comparaciones entre el efecto de cada componente en uno u otro emplazamiento y comprobar cuáles son los más influyentes. El análisis final se realiza respecto a la atmósfera estándar AM1.5 y la extraterrestre AM0; se definen aquellos componentes que han de ser considerados en cada región del espectro para que así puedan ser considerados en el emplazamiento que se desee a la hora de definir su espectro solar incidente.

Abstract

The aim of this project is to analyse the different atmospheric components and their spectral action zones in order to define the solar spectrum in a given location. In the first part it is analysed the current energy situation and the urgent need for a sustainable energy system due to the present environmental problems. It is set out the basic knowledge of radiation and the phenomena involved in its passage through the atmosphere: atmospheric absorption, scattering or dispersion and reflection.

A second part of the project studies the different components involved in attenuation phenomena, from what is its effect and at what wavelengths of the spectrum to what is its current distribution throughout the Earth's atmosphere. It also shows which models can be used to estimate the performance of each component and the parameters needed to apply them according to the location.

Afterwards, the different models are applied in three different locations: Padang, Alice Spring and Beijing. These places have been selected for the remarkable difference between the atmospheres they possess and their climates: tropical, desert or arid and continental respectively. Thanks to the previous bibliographic study, the data representing the most characteristic atmosphere of each site can be estimated, and with the models it is possible to estimate the spectral distribution, having also defined the total atmospheric transmittance and of each component individually.

Finally, it is possible to make a series of comparisons between the effect of each component on one or another site and to check which are the most influential. The final analysis is performed with respect to the standard atmosphere AM1.5 and the extraterrestrial AM0; the components to be considered in each region of the spectrum are defined so that they can be considered in the desired location when defining their solar incident spectrum.

Agradecimientos	vi
Resumen	viii
Abstract	x
Índice	xii
Índice de tablas	xiv
Índice de figuras	xv
1. Antecedentes y alcance	1
1.1. <i>Situación actual energética y medioambiental</i>	1
1.2. <i>Fundamentos del recurso solar</i>	4
2. Objetivos	9
3. Atmósfera y radiación	10
3.1. <i>Masa de aire (AM)</i>	13
3.1.1 Espectro y atmósfera de referencia	16
3.1.2 Difusión de Rayleigh y Mie	17
3.2. <i>Vapor de agua (PW)</i>	19
3.3. <i>Absorción de mezcla de gases uniforme (CH₄, CO, CO₂, N₂, N₂O Y O₂)</i>	23
3.4. <i>Trazas de gases (NO, NO₂, SO₂ Y O₃)</i>	24
3.4.1. Dióxido de nitrógeno (NO ₂) y ozono (O ₃)	26
3.5. <i>Aerosoles</i>	28
3.6. <i>Nubosidad</i>	34
3.7. <i>Radiación difusa</i>	36
3.7.1. Componente de Rayleigh.....	36
3.7.2. Componente de aerosoles.....	37
3.7.3. Componente de retrodispersión suelo-cielo.....	38
4. Caracterización espectral para diferentes emplazamientos	40
4.1. <i>Modelos atmosféricos y su actuación espectral</i>	40
4.2. <i>Padang, Indonesia</i>	43
4.3. <i>Alice Springs, Australia</i>	46
4.4. <i>Pekín, China</i>	49
4.5. <i>Aplicación de los modelos atmosféricos</i>	52
4.5.1. Comparativa de las transmitancias de cada componente según el emplazamiento	52
4.5.2. Efecto de la transmitancia sobre el espectro solar	60

5. Conclusiones	65
6. Líneas de trabajo futuro	66
Bibliografía.....	67
Apéndice.....	70

Índice de Tablas

Tabla 1.2.1. Tipos de radiación según la banda de onda.	7
Tabla 1.2.2. Perfiles verticales y paso óptico efectivo para diez atmósferas de referencia.	7
Tabla 3.1. Coeficientes para el cálculo de la masa óptica de los componentes atmosféricos.	15
Tabla 3.2.1. Bandas de absorción del vapor de agua.	19
Tabla 3.4.1. Tres tipos de atmósferas según su contaminación.	25
Tabla 3.5.1. Exponentes de longitud de onda para diferentes tipos de aerosoles y respecto a la humedad relativa del ambiente.	29
Tabla 3.6.1. Valores de corrección para cielo nublado dependiendo del espesor óptico del aerosol y el porcentaje de cielo cubierto.	35
Tabla 3.7.2.1. Coeficientes para la determinación del factor de asimetría del modelo de aerosol SRA.	38
Tabla 4.1.1. Efecto de los componentes atmosféricos en cada una de las regiones del espectro.	42
Tabla 4.2.1. Modelo atmosférico de referencia para clima tropical.	44
Tabla 4.5.1. Parámetros atmosféricos de los diferentes emplazamientos analizados.	51

Índice de Figuras

Figura 1.1.1. Suministro de energía primaria mundial por fuente, 1990-2016.	2
Figura 1.1.2. Proporción de las emisiones de CO2 acumuladas por regiones. La acumulación es la suma de las emisiones anuales.	2
Figura 1.1.3. Emisiones anuales de CO2 según la región.	3
Figura 1.1.4. Reducción de los Gt de CO2 en un escenario de desarrollo sostenible.	4
Figura 1.2.1. Balance energético de la Tierra, adaptado a partir de Trenberth et al (2009) y Lindsey (2009).	5
Figura 1.2.2. Espectro solar de radiación.	6
Figura 3.1. Transmitancia de absorbentes en el espectro AM1.5d.	11
Figura 3.2. Transmitancia de los fenómenos de dispersión de Rayleigh y Mie.	11
Figura 3.1.1. Variación del espectro en función de la masa de aire AM.	13
Figura 3.1.2. Ángulo altura solar para distintos valores de AM, Riordan and Hulstron (1990).	13
Figura 3.1.3. Masa óptica en función de la elevación solar para superficie terrestre plana.	14
Figura 3.1.4. Masa óptica de varios componentes en función de la elevación solar.	14
Figura 3.1.5. Flujo de fotones para diversos AM.	15
Figura 3.1.1.1. Espectro solar bajo diferentes masas de aire basado en la norma ASTM.	16
Figura 3.1.2.1. A la izquierda, espectro global en color (AM1.5g) respecto al estratosférico (AM0). A la derecha, espectro global en azul y directo en naranja con la diferencia entre ambos en celeste.	17
Figura 3.1.2.2. Dispersiones de Rayleigh y Mie.	17
Figura 3.1.2.3. Transmitancia de Rayleigh en la atmósfera a nivel del mar (línea continua) y a altitud de 3.4km (línea punteada) para las masas de aire de 1.5 y 5.	18
Figura 3.1.2.4. Irradiancia del espectro solar para diferentes masas de aire partiendo de la atmósfera estándar U.S., 20mm de PW, 3,4mm de ozono, a nivel del mar y siendo el aire muy limpio (Thekaekara, 1976).	18
Figura 3.2.1. Relación del espectro del vapor de agua y el solar.	19
Figura 3.2.2. Transmitancia del vapor de agua para una atmósfera estándar y para condiciones secas y húmedas.	20
Figura 3.2.3. Variación del espectro en función de la cantidad de vapor de agua en atmósfera.	21
Figura 3.2.4. Distribución del PW según altitud y latitud.	22
Figura 3.2.5. Cantidad de vapor de agua en la atmósfera del globo en mayo de 2009.	22
Figura 3.2.6. Densidad de vapor de agua según la atmósfera e invierno/verano.	23
Figura 3.3.1. Transmitancia de la mezcla de gases a nivel del mar para AM 1.5.	24
Figura 3.4.1. Transmitancia de las trazas de gases para AM1.5 y AM5 con polución (figura superior) y transmitancia atmosférica de la radiación directa para diferentes atmósferas contaminadas (figura inferior). ..	25
Figura 3.4.1.1. Fuentes de emisión de NOx en EU, 2016.	26

Figura 3.4.1.2. Distribución global del NO ₂ atmosférico.	26
Figura 3.4.1.3. Evolución de contaminantes atmosféricos a lo largo del día.	26
Figura 3.4.1.4. Ozono global según la estación, 2009.	27
Figura 3.4.1.5. Transmitancia del ozono y del NO ₂ para diferentes pasos ópticos.	28
Figura 3.5.1. Transmitancias del aerosol para condiciones de baja turbidez (curvas superiores) y de alta turbidez (curvas inferiores) para dos masas de aire: AM1.5 y AM5.	30
Figura 3.5.2. Dependencia del AOD (Aerosol Optical Depth o espesor óptico del aerosol) respecto a la longitud de onda y para turbidez leve ($\beta=0.2$) y alta ($\beta=0.4$) con diversos exponentes α	30
Figura 3.5.3. Variación del espectro en función del AOD en 550 nm.	31
Figura 3.5.4. Mapa global del AOD según las estaciones en el año 2001/2002.	32
Figura 3.5.5. Distribuciones verticales de volumen de aerosol respecto al radio, tomando como ejemplo varias localizaciones (AERONET,2002).	32
Figura 3.5.6. Emisión anual media de varios aerosoles (Stier et al.,2005).	33
Figura 3.6.1. Tipos de nubes.	34
Figura 3.6.2. Radiación solar sobre una superficie horizontal a través de diferentes tipos de nubes y en función de AM, según Haurwitz.	34
Figura 3.7.1.1. Relación del albedo de dispersión de aerosol urbano con la longitud de onda y la humedad relativa.	37
Figura 3.7.3.1. Reflectancia espectral de varios materiales de suelo.	39
Figura 4.1. Mapa mundial de radiación global con los tres emplazamientos del proyecto	40
Figura 4.2.1 Radiación Global Horizontal de Indonesia.	43
Figura 4.2.2. Masa de aire a lo largo del día para equinoccios y solsticios.	44
Figura 4.2.3. Distribución temporal de la masa de aire en Padang.	44
Figura 4.2.4. Distribución estadística de vapor de agua.	45
Figura 4.2.5. Distribución estadística del espesor óptico de aerosoles.	45
Figura 4.2.6. Distribución estadística del ozono atmosférico.	46
Figura 4.3.1 Radiación Directa Normal de Australia.	46
Figura 4.3.2. Masa de aire a lo largo del día para equinoccios y solsticios.	47
Figura 4.3.3. Distribución temporal de la masa de aire en Alice Springs.	47
Figura 4.3.4. Distribución estadística del espesor óptico de aerosoles.	47
Figura 4.3.5. Distribución estadística de vapor de agua	48
Figura 4.3.6. Distribución estadística del ozono atmosférico.	48
Figura 4.4.1. Radiación global horizontal en China	49
Figura 4.4.2. Masa de aire a lo largo del día para equinoccios y solsticios.	49
Figura 4.4.3. Distribución temporal de la masa de aire en Alice Springs.	50
Figura 4.4.4. Vapor de agua atmosférico (izquierda) y precipitaciones mensuales (derecha).	50
Figura 4.4.5. Movimiento de los aerosoles en primavera (izquierda) y tamaños y concentración de las partículas de aerosoles según la estación (derecha).	51
Figura 4.4.6. Distribución estadística del ozono atmosférico.	51
Figura 4.5.1.1. Masas ópticas según el ángulo cenital.	53
Figura 4.5.1.2. Transmitancia de Rayleigh.	54

Figura 4.5.1.3. Transmitancia del vapor de agua.	54
Figura 4.5.1.4. Transmitancia del O ₂ y CO ₂	55
Figura 4.5.1.5. Transmitancia del NO ₂	56
Figura 4.5.1.6. Transmitancia del O ₃	56
Figura 4.5.1.7. Transmitancia de las trazas de gases en una atmósfera contaminada, Pekín.	57
Figura 4.5.1.7. Transmitancia de los diferentes aerosoles	57
Figura 4.5.1.8. Transmitancia total atmosférica para diferentes emplazamientos.	59
Figura 4.5.2.1. Transmitancias de Pekín.	60
Figura 4.5.2.2. Espectro estándar AM0 y AM1.5 respecto al espectro de Pekín y su transmitancia	61
Figura 4.5.2.3. Espectro estándar AM0 y AM1.5 respecto al espectro de Padang y su transmitancia.....	62
Figura 4.5.2.4. Espectro estándar AM0 y AM1.5 respecto al espectro de Alice Springs y su transmitancia.....	63
Figura 4.5.2.5. Espectros directos de los emplazamientos y el estándar AM0 y AM1.5.....	64

1 ANTECEDENTES Y ALCANCE

*" Ciego quien no ve el sol, necio quien no lo conoce,
ingrato quien no le da las gracias, si tanta es la luz,
tanto el bien, tanto el beneficio, con que resplandece,
con que sobresale, con que nos favorece, maestro de los
sentidos, padre de las sustancias autor de la vida"*

- Giordano Bruno -

Hoy día la sociedad que habita en la Tierra se halla envuelta en crisis de diferentes ámbitos: social, ética o de valores, de gobernanza y medioambiental. Se podría decir que las cuatro están relacionadas entre sí de una forma u otra, y la humanidad debe hacer un gran esfuerzo por llegar a superarlas. Este trabajo surge a partir de la existencia de una crisis energética a nivel global, la cual tiene importantes estragos para el medioambiente y conduce a la urgente necesidad de la creación de un modelo energético que sea sostenible. Una de las soluciones propuestas es el aprovechamiento de la energía solar, la cual puede ser transformada directamente en electricidad gracias a la tecnología fotovoltaica o como fuente de calor inagotable. Esta radiación solar que podemos aprovechar no nos llega simplemente en forma de potencia, sino que alcanza la superficie terrestre en diferentes niveles de energía para cada longitud de onda emitida por el sol, ello determina el espectro solar. Para definir dicho espectro se requiere de un estudio del paso del rayo de luz a través de nuestra atmósfera. Por ello es crucial un análisis de los componentes de la atmósfera para conocer así cómo afectan a dicha energía incidente y en qué longitudes de onda. Por lo tanto, los componentes atmosféricos determinan el espectro que alcanza el suelo y son necesarios conocerlos y caracterizarlos para el emplazamiento donde se desee aprovechar la energía proveniente del sol.

1.1 SITUACIÓN ACTUAL ENERGÉTICA Y MEDIOAMBIENTAL

En la actualidad el mundo sufre una importante demanda de energía primaria que, como bien es sabido, se suplende de forma insostenible y con graves repercusiones para el medio ambiente. La energía es uno de los pilares para el desarrollo en múltiples campos de nuestra era: ciencia, economía, política, sociedad, etc. Es por ello que su suministro es un reto de los más importantes de nuestros días. Actualmente la demanda de energía primaria ha aumentado a lo largo de los años [1], tanto por el crecimiento exponencial de la población mundial como debido al incremento en el consumo de cada individuo debido al modo de vida que predomina en los sistemas modernos, en especial en los países con mayor desarrollo tecnológico.

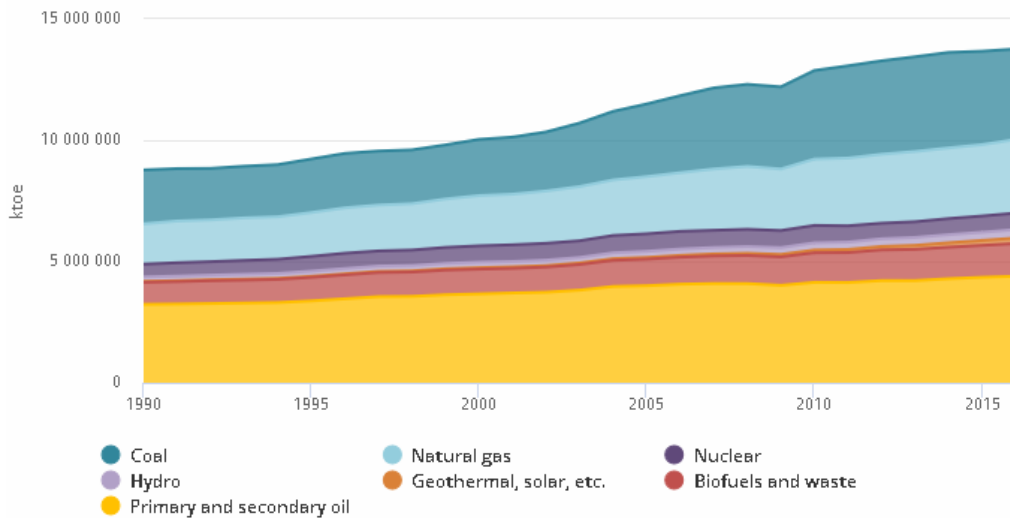


Figura 1.1.1. Suministro de energía primaria mundial por fuente, 1990-2016 [1].

Este consumo desenfadado de la energía conlleva un gasto cada vez de mayor magnitud de las fuentes de energías no renovables, en concreto el carbón, gas natural y petróleo, los cuales son recursos finitos que además de elevar su precio, contribuyen al cambio climático que cada vez es más evidente y de mayor urgencia.

Mientras, las emisiones de CO₂ siguen creciendo en un 2,7% en el año 2018 [2] y para el año 2014 [1] la mitad de las mismas son debidas a la producción de electricidad y calor, un 20% se debe al subsector del transporte y otro 20% al de la construcción y las industrias manufactureras. Actualmente los principales países responsables son China, EEUU y el continente europeo, sin embargo si se echa la vista atrás desde la revolución industrial no cabe duda de que la mayor parte de las emisiones acumuladas a lo largo de la historia son culpa de estos dos últimos (figura 1.1.2).

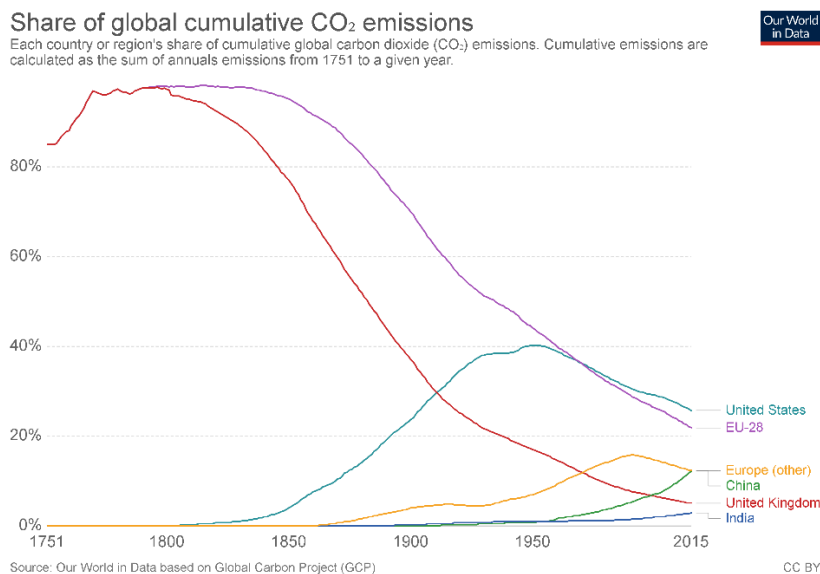


Figura 1.1.2. Proporción de las emisiones de CO₂ acumuladas por regiones. La acumulación es la suma de las emisiones anuales [2].

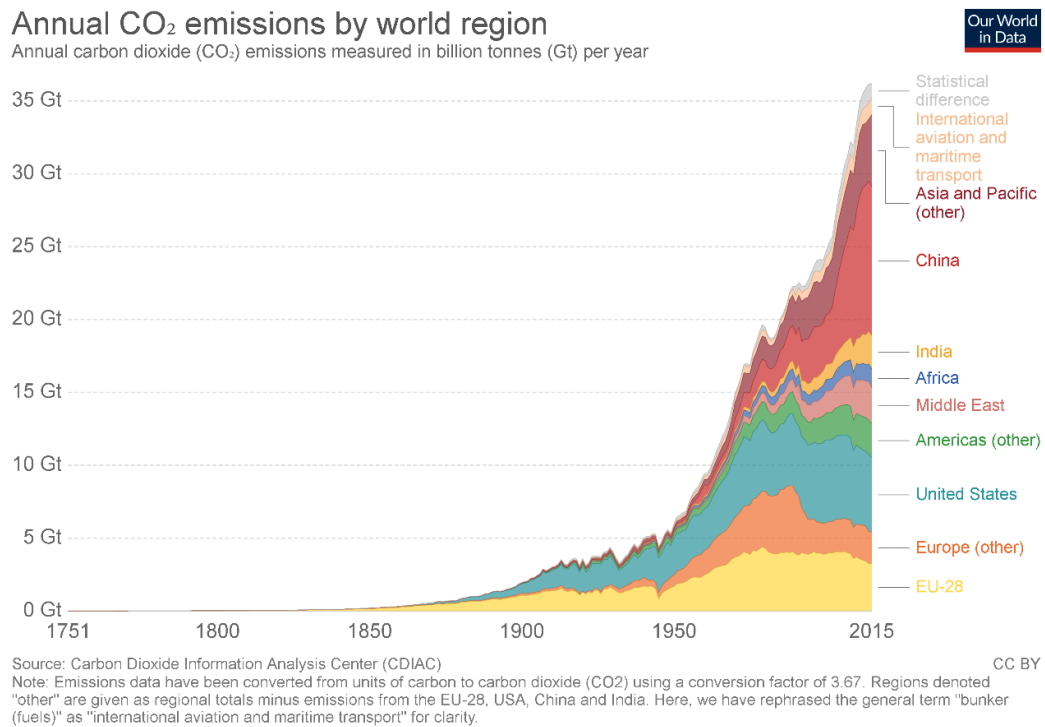


Figura 1.1.3. Emisiones anuales de CO₂ según la región [2].

Por esta inminente escasez de recursos y degradación del medio ambiente los gobiernos están comenzando a fomentar modelos energéticos sostenibles de cara a un futuro cercano, siendo fundamentales las energías renovables en el cambio que se avecina.

Existen ciertos criterios para encauzar el camino hacia un modelo energético sostenible [3], basándose en la necesidad de producir y consumir energía según unos patrones que permitan el desarrollo de la sociedad sin comprometer las próximas generaciones y nuestro planeta:

- Seguridad energética: es vital asegurar el suministro continuo de energía a los consumidores y que el precio del mismo sea asequible.
- Competitividad: se debe lograr un modelo que no ponga en riesgo el sistema económico en el que se emplee y permita su desarrollo o funcionamiento.
- Sostenibilidad ambiental: el sector energético es responsable de cerca del 80% de las emisiones de efecto invernadero, por lo que debe ser protagonista a la hora de combatir el cambio climático. El modelo debe tener un impacto asumible por el medio ambiente.

Respecto a este último apartado, existen ciertos compromisos de los gobiernos a nivel internacional para frenar las emisiones de gases de efecto invernadero. El acuerdo de mayor alcance a nivel global fue el de París [4], firmado en diciembre de 2015 por 195 países para limitar a 2 °C el calentamiento global que se está produciendo desde la era de la revolución industrial.

Para ello la International Energy Agency (IEA) ha propuesto un escenario sostenible en el que se puedan cumplir los objetivos propuestos gracias a las energías alternativas de origen no fósil [5].

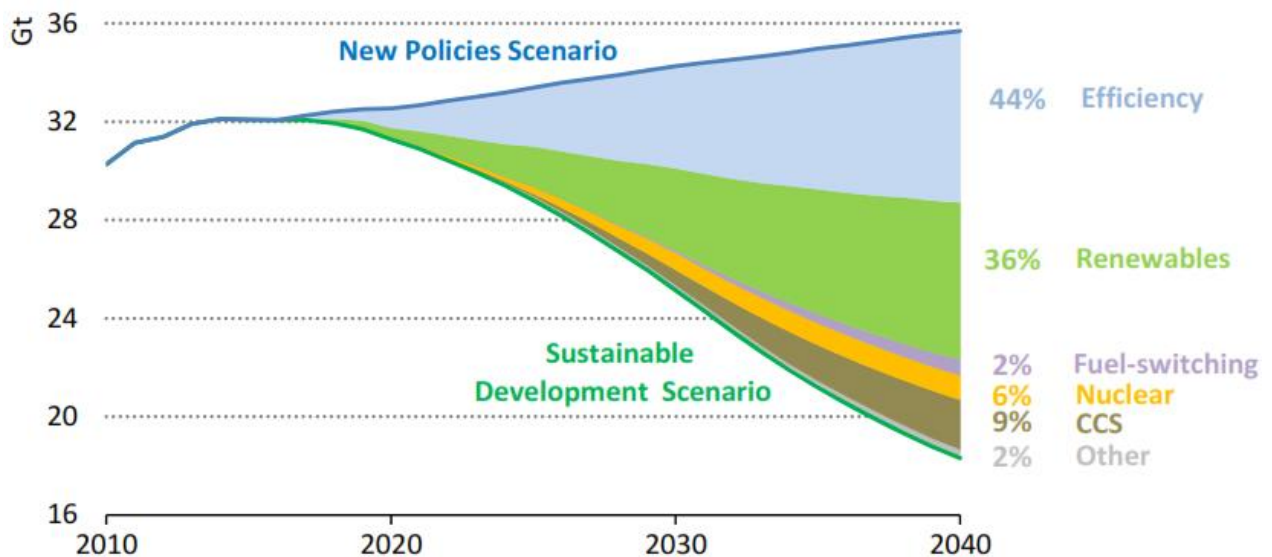


Figura 1.1.4. Reducción de los Gt de CO₂ en un escenario de desarrollo sostenible [5].

En este escenario se plantea la eficiencia energética y el uso de renovables como principal solución para la reducción de las emisiones de CO₂ (conforma el 80% del nuevo escenario). Otros de los objetivos de la IEA es la mejora de la calidad del aire, la posibilidad de servicios modernos de energía para los que no disponen de ella y parar el cambio climático, estimando un incremento máximo de 1,7-1,8 °C en 2100.

Otro plan de actuación propuesto contra esta situación de crisis medioambiental y energética son las estrategias para 2020 de la Unión Europea [6]. Los objetivos fundamentales del paquete de medidas son tres:

- 20% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (en relación con los niveles de 1990).
- 20% de energías renovables en la UE.
- 20% de mejora de la eficiencia energética.

Por lo tanto y viendo los objetivos de los gobiernos y otras entidades respecto a la energía, no es posible imaginar un futuro tanto a nivel mundial como europeo en el que no tenga cabida una utilización a gran escala de las energías renovables.

1.2 FUNDAMENTOS DEL RECURSO SOLAR

La estrella de nuestro Sistema Solar, el Sol, está constituido principalmente de hidrógeno (73%) y helio (23%) y emite gran cantidad de radiación en todas direcciones del espacio gracias a las reacciones de fusión que tienen lugar en él. Dicha radiación se emite en múltiples longitudes de onda, lo cual conforma el espectro solar, cuyas características son las de un cuerpo negro a una temperatura de 5775K aproximadamente. Si calculásemos el valor medio de la radiación que llega al exterior de la atmósfera a una superficie orientada al Sol, obtendríamos una potencia de unos 1353 W/m², la denominada constante solar [7]. El Sol es considerado una fuente de energía renovable, además de un recurso abundante (aunque intermitente) y en principio inagotable.

Parte de la energía del Sol es captada por el planeta Tierra; esta es en parte responsable del clima y la temperatura terrestre, además de sus ciclos y fuentes de energía naturales. Sin embargo no toda la energía que llega a la atmósfera logra alcanzar la superficie terrestre, existen tres principales factores que afectan a este proceso [8]:

- Condiciones atmosféricas: la energía que atraviesa la atmósfera se ve afectada por la acción de los elementos que la componen, los cuales atenúan la radiación y alteran el espectro solar incidente.
- Existencia de ciclos: tanto diariamente como de forma estacionaria a lo largo del año la radiación solar varía en ciclos debido a la trayectoria de la Tierra alrededor del Sol.
- Ubicación geográfica: la radiación solar alcanza la superficie con mayor o menor intensidad dependiendo de la

latitud geográfica y de la altitud. Ello se debe al grado de inclinación del rayo y por tanto a la longitud de atmósfera que debe recorrer, habiendo así una mayor radiación en las zonas cercanas a la línea de ecuador.

Es posible analizar las condiciones atmosféricas con mayor detalle. La atmósfera terrestre está compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno, aunque también existen otros componentes como gases nobles (Argón, Neón...), vapor de agua, dióxido de carbono, aerosoles, etc. La composición de la atmósfera varía a lo largo de sus diferentes capas con la altitud, lo cual se debe a efecto de la radiación en la gravedad; en las capas superiores hay menor masa de aire y se producen reacciones con las radiaciones de menor onda y más energéticas mientras que en la capa más próxima a la superficie (troposfera) se concentra prácticamente todo el vapor de agua, las nubes y las partículas sólidas [9].

Cuando la radiación llega a la capa más externa de la atmósfera sufre tres tipos de interacciones, las cuales forman parte del balance energético terrestre que se muestra en la figura 1.2.1:

- La absorción:

Es un proceso selectivo, es decir, los gases y componentes atmosféricos que participan tienen unas bandas espectrales de actuación determinadas. Los principales absorbentes atmosféricos son el vapor de agua, dióxido de carbono, ozono, metano, oxígeno, nitrógeno, etc...[10]. Este proceso supone la atenuación de cerca de un 23% de la radiación solar y es fundamental a la hora de estudiar muchas de las reacciones químicas ocurridas en la atmósfera o los climas existentes.

- La dispersión:

Cuando la radiación electromagnética alcanza una partícula atmosférica (moléculas de aire, aerosoles, gotas de agua) parte de la energía incidente es dispersada en diferentes direcciones [10]. Este fenómeno tiene mayor o menor grado de actuación sobre la radiación directa que llega dependiendo de la concentración de partículas que el rayo atraviese y del tamaño de las estas respecto a la longitud de onda [8]. Los principales tipos de difusión son la de Rayleigh (moléculas de aire) y de Mie (aerosoles).

- La reflexión:

Parte de la radiación que llega a la atmósfera vuelve al espacio al ser reflejada tanto por partículas atmosféricas y principalmente nubes (23%) como por la superficie terrestre (6%). Esta reflexión varía según el albedo del suelo y el tipo de nube, por lo que este porcentaje puede variar rápidamente con el tiempo.

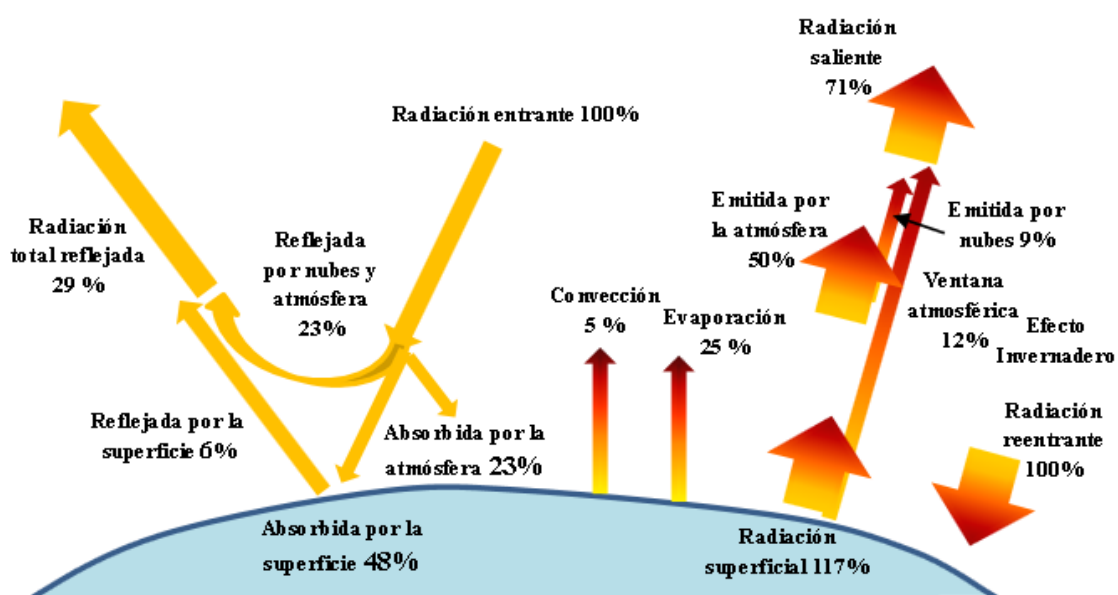


Figura 1.2.1. Balance energético de la Tierra, adaptado a partir de Trenberth et al (2009) y Lindsey (2009).

El balance energético se completa con lo que la Tierra emite. Es decir, lo absorbido por la superficie y la

atmósfera debe compensarse con lo que el planeta devuelve de energía al espacio. Ello lo realiza emitiendo radiación (de onda mucho mayor que la visible), evaporando parte del agua de la corteza terrestre, por convección y emisión atmosférica.

Los componentes atmosféricos actúan con mayor o menor intensidad en determinadas longitudes de onda de radiación. El espectro que alcanza la superficie terrestre dependerá por lo tanto del tipo de atmósfera que haya atravesado, habiéndose destacado con mayor o menor peso unos determinados fenómenos u otros.

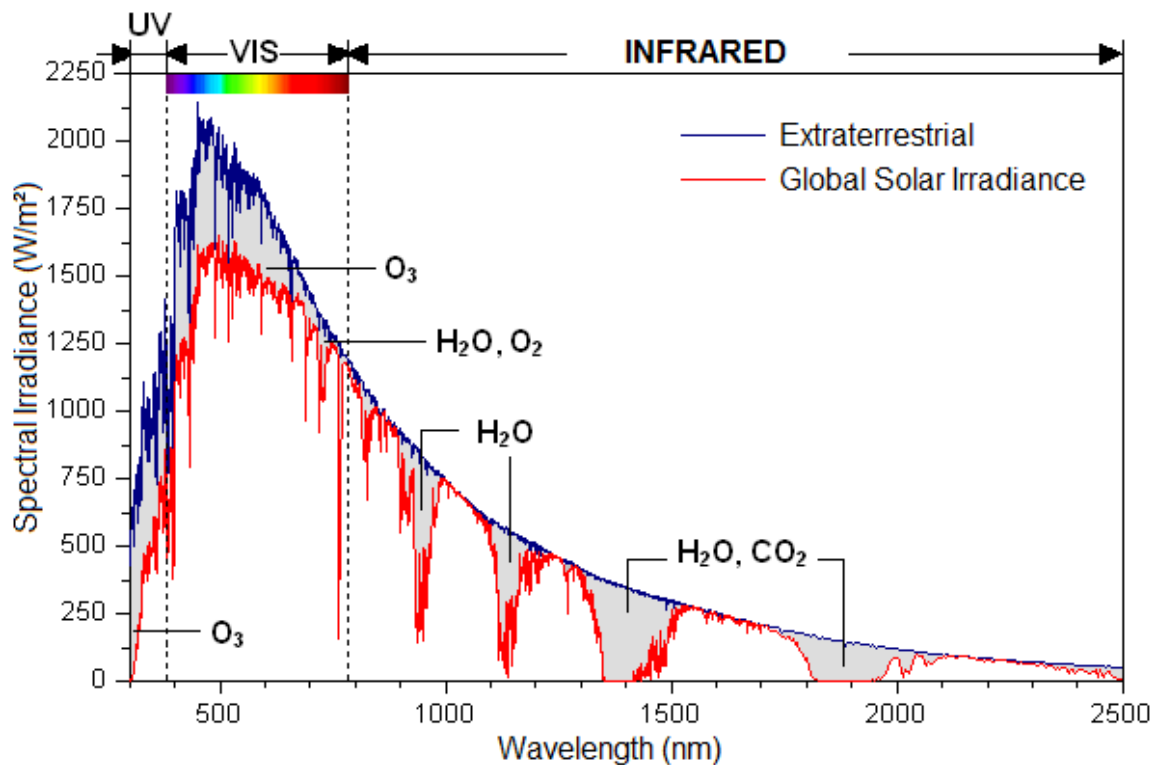


Figura 1.2.2. Espectro solar de radiación [11].

La figura 1.2.2 muestra una clara variación en el espectro debido a elementos como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el ozono o el oxígeno, sin embargo también son destacables los aerosoles y la nubosidad. La región azul muestra cómo es el espectro cuando alcanza la parte más externa de la atmósfera, mientras que la roja es la radiación que llega a nivel del mar tras haber experimentado la influencia de los diferentes absorbentes y difusores.

El espectro solar está dividido por bandas según intervalos de longitud de onda, siendo la mayor parte de la radiación que llega a la Tierra entre 400 y 700 nm, es decir, visible. Sin embargo la pequeña parte de onda corta que alcanza la atmósfera es mucho más energética y puede descomponer las moléculas que halle.

Longitud de onda (λ) límites aproximados para la radiación especificada en nm ($1\text{nm}=10^{-7}\text{ cm}$)	Tipo de radiación de mayor a menor energía
10^{-2} nm e inferiores 10^{-2} a 0,1nm. 0,1 a 200 nm. 200 a 400 nm. 400 a 450 nm. 450 a 490 nm. 490 a 570 nm. 570 a 600 nm. 600 a 650 nm. 650 a 700 nm. 700 nm a 10^{-2} cm . 10^{-2} cm a mayores.	Rayos gamma (Rayos γ) Rayos X Ultravioleta lejano Ultravioleta próximo Luz visible: Violeta Azul Verde Amarilla Naranja Roja Infrarrojo (IR) Microondas, Radar, Radio

Tabla 1.2.1. Tipos de radiación según la banda de onda [9].

Existen diez atmósferas diferentes que propone C. Gueymard (1995) y usa para su modelo atmosférico SMARTS2 (Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine) que se pueden tomar como referencia. Las atmósferas vienen reflejadas en la siguiente tabla 1.3.1 y se definen sus componentes según diferentes altitudes y el clima que se considere.

Atmosphere	Vertical profiles					Effective pathlengths				
	Z (km)	T _a (K)	T _{eo} (K)	p (mb)	RH (%)	O ₂ (km)	CO ₂ (km)	H ₂ O (cm)	O ₃ (atm-cm)	NO ₂ (atm-cm)
USSA 45° N	0	288.2	225.4	1013.3	45.5	4.9635	4.6854	1.419	0.3434	2.04E-4
	1	281.7	223.4	898.8	48.7	3.9637	3.6853	0.899		
	2	275.2	221.3	795.0	51.8	3.1483	2.8836	0.566		
	3	268.7	219.4	701.2	50.6	2.4872	2.2449	0.326		
	4	262.2	217.7	616.6	50.0	1.9538	1.7389	0.193		
MLS 45° N	0	294.2	232.1	1013.3	75.7	4.9383	4.8866	2.927	0.3316	2.18E-4
	1	289.7	229.7	902.0	65.6	3.9622	3.8792	1.727		
	2	285.2	227.3	802.0	54.8	3.1682	3.0651	1.024		
	3	279.2	224.9	710.0	45.0	2.5239	2.4089	0.561		
	4	273.2	222.4	628.0	38.8	2.0019	1.8849	0.325		
MLW 45° N	0	272.2	220.6	1018.0	77.0	5.0762	4.5566	0.855	0.3768	1.99E-4
	1	268.7	218.7	897.3	70.4	3.9953	3.5658	0.549		
	2	265.2	217.0	789.7	65.4	3.1356	2.7789	0.346		
	3	261.7	215.4	693.8	56.7	2.4537	2.1555	0.188		
	4	255.7	213.9	608.1	49.8	1.9142	1.6630	0.104		
SAS 60° N	0	287.2	233.6	1010.0	74.9	4.9309	4.7057	2.079	0.3448	2.16E-4
	1	281.7	231.7	896.0	69.8	3.9325	3.7118	1.316		
	2	276.3	229.6	792.9	69.7	3.1223	2.9148	0.836		
	3	270.9	227.5	700.0	65.0	2.4677	2.2784	0.483		
	4	265.5	225.4	616.0	60.3	1.9411	1.7724	0.280		
SAW 60° N	0	257.2	217.4	1013.0	80.4	5.0968	4.3277	0.424	0.3757	1.87E-4
	1	259.1	216.1	887.8	69.3	3.9512	3.3635	0.295		
	2	255.9	214.8	777.5	69.9	3.0714	2.6003	0.193		
	3	252.7	213.5	679.8	65.6	2.3808	2.0009	0.107		
	4	247.7	212.1	593.2	60.4	1.8401	1.5315	0.057		
TRL 15° N	0	299.7	229.7	1013.0	74.9	4.9313	4.9539	4.117	0.2773	2.11E-4
	1	293.7	226.9	904.0	72.3	3.9769	3.9407	2.494		
	2	287.7	224.3	805.0	74.2	3.1925	3.1198	1.441		
	3	283.7	221.8	715.0	47.8	2.5502	2.4572	0.735		
	4	277.0	219.6	633.0	34.7	2.0309	1.9237	0.432		
STS 30° N	0	301.2	224.5	1013.5	80.0	4.9006	4.9444	4.219	0.300	2.00E-4
	1	293.7	221.5	904.6	65.0	3.9623	3.9412	2.593		
	2	288.2	218.8	805.1	60.0	3.1826	3.1254	1.695		
	3	282.7	216.4	714.8	60.0	2.5449	2.4660	0.998		

	4	277.2	214.1	633.1	50.0	2.0260	1.9359	0.604		
STW	0	287.2	221.2	1021.0	80.0	5.0198	4.8180	2.101	0.280	1.00E-4
30° N	1	284.2	218.3	906.4	70.0	4.0054	3.8100	1.218		
	2	281.2	215.7	803.5	50.0	3.1890	2.9977	0.709		
	3	274.7	213.4	710.7	45.0	2.5333	2.3443	0.369		
	4	268.2	211.2	626.8	35.0	2.0011	1.8234	0.209		
AS	0	278.2	235.7	1012.5	85.0	4.9733	4.6342	1.479	0.330	2.00E-4
75° N	1	275.6	232.9	895.0	75.0	3.9343	3.6494	0.965		
	2	273.0	230.3	790.2	65.0	3.1065	2.8618	0.615		
	3	268.4	228.0	696.7	60.0	2.4482	2.2332	0.343		
	4	261.9	225.9	612.5	55.0	1.9217	1.7341	0.195		
AW	0	249.2	213.0	1013.5	80.0	5.1357	4.1996	0.217	0.380	1.00E-4
75° N	1	252.2	210.4	884.1	65.0	3.9457	3.2454	0.150		
	2	250.9	208.1	772.1	60.0	3.0453	2.4954	0.093		
	3	245.4	206.0	672.7	55.0	2.3482	1.9077	0.051		
	4	239.9	204.1	584.3	50.0	1.8000	1.4517	0.029		

Tabla 1.2.2. Perfiles verticales y paso óptico efectivo para diez atmósferas de referencia [12].

USSA (U.S. Standard Atmosphere), **MLS** (Mid Latitude Summer), **MLW** (Mild Latitude Winter), **SAS** (Sub Arctic Summer), **SAW** (Sub Arctic Winter), **TRL** (Tropical), **STS** (Sub Tropical Summer), **STW** (Sub Tropical Winter), **AS** (Arctic Summer), **AW** (Arctic Winter), z (altitude), T_a (air temperature), T_{eo} (effective ozone temperature), p (pressure), RH (relative humidity).

2 OBJETIVOS

Los principales objetivos que tiene este proyecto son los siguientes:

1. Identificación de los parámetros atmosféricos responsables de la atenuación de la radiación solar y que caracterizan su distribución espectral en una determinada localización; además analizar la configuración a lo largo de la atmósfera terrestre de dichos parámetros.
2. Identificación de las longitudes de onda o zonas del espectro donde actúan cada uno de los parámetros considerados previamente.
3. Revisión de los modelos que determinan la transmitancia a la radiación para cada parámetro considerado y qué factores atmosféricos son necesarios para aplicarlos.
4. Estimación de la modificación que experimenta el espectro solar extraterrestre (AM0) según los modelos hallados previamente, para tres localizaciones con diferente climatología: Padang, Alice Springs y Pekín. Requiere del análisis de las respectivas transmitancias atmosféricas de cada parámetro.

3 ATMÓSFERA Y RADIACIÓN

En este apartado se describirán los diferentes factores atmosféricos que afectan a la distribución del espectro solar, centrándonos en los fenómenos tanto de absorción como de difusión. La absorción en las diferentes capas de la atmósfera produce el calentamiento de las partículas y deriva en los diferentes procesos meteorológicos. La dispersión del rayo solar directo crea el resplandor difuso del cielo.

Para comprender cómo afectan los componentes de la atmósfera a la radiación es necesario realizar un estudio de sus transmitancias en las diferentes longitudes de onda, además de conocer cómo se distribuyen dichos componentes en las diferentes regiones del globo, caracterizando diferentes atmósferas.

La ley de Beer define la atenuación o extinción de la radiación directa que alcanza la atmósfera, siendo válidas las siguientes ecuaciones para una longitud de onda λ , por lo que se refiere a nivel monocromático [10]:

$$I_{Bn\lambda} = I_{0\lambda} \exp(-k_{\lambda}L) \quad [\text{Ec. 3.1}]$$

$$I_{Bn\lambda} = I_{0\lambda} \exp(-\tau_{\lambda}m) \quad [\text{Ec. 3.2}]$$

$I_{Bn\lambda}$: Irradiancia directa normal que alcanza la superficie.

$I_{0\lambda}$: Irradiancia en la parte exterior de la atmósfera.

k_{λ} : Coeficiente espectral de extinción por unidad de longitud.

L : Longitud total de paso a través de la atmósfera.

τ_{λ} : Espesor óptico espectral (OD).

m : masa óptica.

La ecuación 3.1 calcula la extinción del rayo solar en las múltiples capas atmosféricas de forma separada, utilizando diferentes altitudes y propiedades de refracción. Sin embargo, para modelos de mayor simplicidad como los propuestos por SMARTS o SPECTRAL2, se utiliza la ecuación 3.2 en la cual sólo se considera una capa en cada proceso de extinción para toda la atmósfera, por lo que es más práctica y generalmente utilizada [10]. En esta segunda, la masa óptica para cada componente participante es fácilmente calculada con coeficientes geométricos (tabla 3.1), como se verá en el apartado 3.1.

La complejidad de la ecuación se encuentra en la estimación de los espesores ópticos de cada proceso, los cuales se pueden dividir en tres principales:

-Molecular: depende de la masa de aire AM y de la dispersión de Rayleigh.

-Extinción de los aerosoles: tanto como absorbentes como por la dispersión de Mie.

-Absorción de gases: como el vapor de agua, ozono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, etc...

La transmitancia de un componente genérico i se depende del espesor óptico ($\tau_{i\lambda}$) y de la masa óptica (m_i) según la ecuación 3.3:

$$T_{i\lambda} = \exp(-m_i\tau_{i\lambda}) \quad [\text{Ec. 3.3}]$$

Por tanto, la ecuación 3.2 puede ser también escrita en función de la transmitancia de los n múltiples componentes atmosféricos:

$$I_{Bn\lambda} = I_{0\lambda} T_{1\lambda} T_{2\lambda} \dots T_{n\lambda} \quad [\text{Ec. 3.4}]$$

Los cálculos de la transmitancia para cada componente se realizan en función de la longitud de onda, esto se debe a que esta puede adquirir valores muy diferentes según la zona del espectro que se esté considerando. El caso más extremo es el del vapor de agua, el cual tiene variaciones muy destacadas de absorción en determinadas bandas del espectro por lo que, al no presentar propiedades lineales de saturación, no es posible utilizar la ecuación 3.3. y su transmitancia se calculará de forma diferente [10] (ver ecuaciones 3.2.1 y 3.2.2).

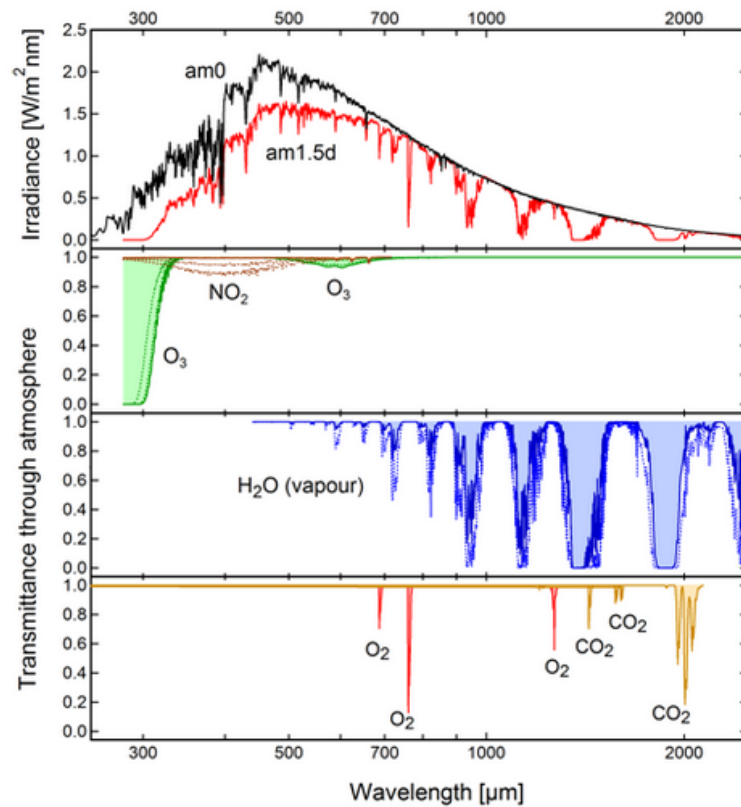


Figura 3.1. Transmitancia de absorbentes en el espectro AM1.5d [13].

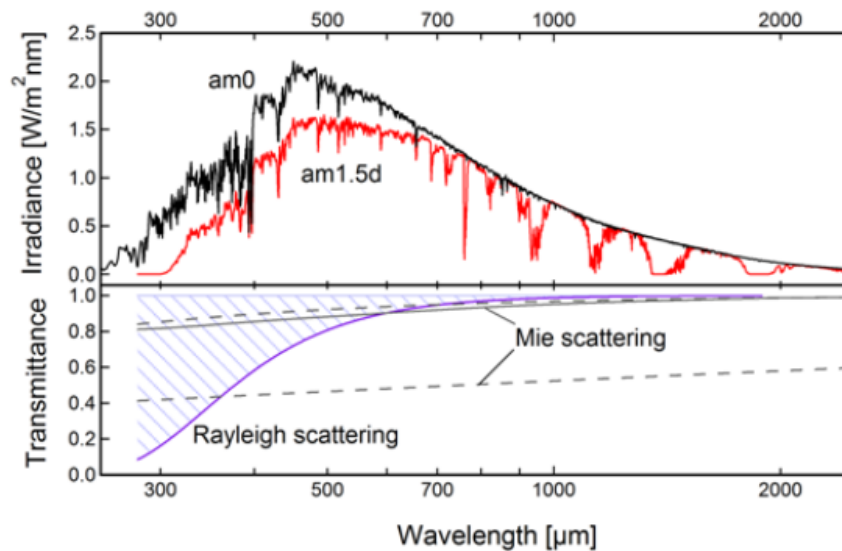


Figura 3.2. Transmitancia de los fenómenos de dispersión de Rayleigh y Mie [13].

En la figura 3.1 se identifican los principales absorbentes atmosféricos y sus respectivas transmitancias en función de la longitud de onda, siendo destacables el ozono en la región ultravioleta o las diferentes bandas de absorción del vapor de agua a partir de los 700μm.

En la figura 3.2 se puede identificar el rango de actuación de cada tipo de dispersión. Mientras que la debida a Rayleigh al ser característica de las moléculas de aire se centra en la zona de longitud de onda corta, la de Mie sucede a partir de cierta longitud por las partículas de aerosol y es de menor influencia.

En los siguientes puntos se estudian los parámetros característicos de la atmósfera de los cuales depende el espectro solar. Cada uno de ellos participan en uno u otro fenómeno que altera la radiación incidente de una

determinada manera, además de actuar en partes concretas del espectro. Se analizarán por lo tanto como factor principal en la atenuación del rayo solar la transmitancia de cada componente, la cual se hace indispensable para la ecuación 3.4. y depende únicamente de la masa y el espesor óptico.

Por otro lado, cada componente atmosférico tiene mayor o menor peso dependiendo del emplazamiento ya que no todos los componentes se hallan en igual concentración a la largo del globo, ello hace que se caracterice una atmósfera determinada.

A continuación se tratarán los siguientes parámetros atmosféricos:

- **Masa de aire (AM):** es la “cantidad” de atmósfera que cruza el rayo de luz solar y depende de la localización geográfica y el ángulo solar. Dentro de este punto se define;
 - La masa óptica de cada componente.
 - La atmósfera estándar y su espectro de referencia según la norma ASTM.
 - Los fenómenos de difusión atmosféricos.
- **Vapor de agua (PW):** Principal absorbedor atmosférico en bandas de actuación muy limitadas. Varía notablemente respecto al clima y por tanto la zona de la Tierra.
- **Mezcla de gases uniforme (CH₄, CO, CO₂, N₂, N₂O y O₂):** Capa de gases de concentraciones más o menos constantes a una cierta altitud. Tiene importante efecto el oxígeno molecular.
- **Trazas de gases (NO, NO₂, NO₂ y O₃):** Concentraciones de gases variables y directamente relacionados con la actividad humana y la contaminación que deriva. Destacan;
 - El ozono (O₃).
 - El dióxido de nitrógeno (NO₂).
- **Aerosoles:** Partículas en suspensión en la atmósfera con gran variabilidad respecto a tamaño, tipo. Son protagonistas en el fenómeno de dispersión de Mie y absorción y sus concentraciones dependen muy notablemente de la situación espacio temporal.
- **Nubosidad:** es la principal fuente de energía reflejada en la atmósfera. Las nubes tiene un alto albedo y pueden llegar a rechazar altas cantidades de energía.

Por último, la sección final del capítulo tratará de la radiación difusa. Este tipo de radiación depende directamente de la transmisividad de los diferentes componentes, es decir, utiliza los modelos analizados previamente para determinar la radiación directa.

3.1 MASA DE AIRE (AM):

La masa de aire o en inglés Air Mass (AM) es un parámetro que caracteriza el espectro solar según la longitud de atmósfera que haya tenido que recorrer el rayo de Sol de forma directa hasta alcanzar la superficie. Este parámetro depende del ángulo de inclinación del rayo de Sol sobre la superficie terrestre y caracteriza la masa óptica de cada componente de la atmósfera, por lo que tiene gran relevancia a la hora de determinar la transmitancia atmosférica y el espectro.

Cuando el Sol alcanza su máxima elevación y se encuentra totalmente perpendicular a la superficie (ángulo cenital nulo), nos hallamos en AM=1. Sin embargo, a lo largo del día el Sol va variando su altura y por tanto el rayo tendrá cierta inclinación en su trayectoria, por lo que recorrerá mayor masa de aire y la AM aumentará; en consecuencia el efecto de la atmósfera sobre el espectro solar incidente será de mayor grado [14].

Este efecto puede comprobarse en la figura 3.1.1, donde muestra el espectro solar para diferentes masas de aire. Entre AM=1 y AM=4 la región de longitudes de onda previas a los 75 nm sufre una atenuación significativa, demostrando el efecto sobre el rayo al cruzar varias atmósferas. Como se comentará más adelante, un aumento de AM potencia en mayor medida el efecto de unos componentes atmosféricos por encima de otros.

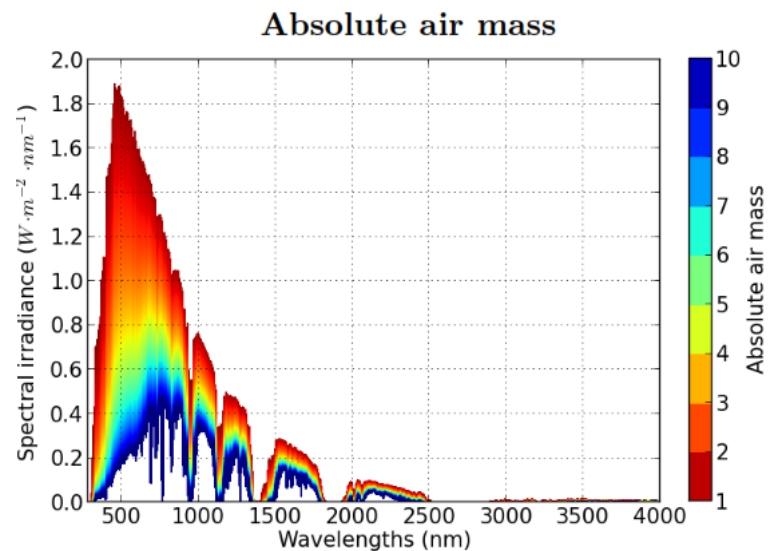


Figura 3.1.1. Variación del espectro en función de la masa de aire AM [15].

El ángulo de incidencia del rayo depende de la situación geográfica, esto se debe a que el Sol disminuye su altura solar al disminuir la latitud, es decir, en zonas más cercanas a los polos. Por ejemplo, el Sol fuera de la región de los trópicos nunca llega a estar perpendicular a la superficie en su cenit, por lo que en dichas zonas el AM característico será mayor.

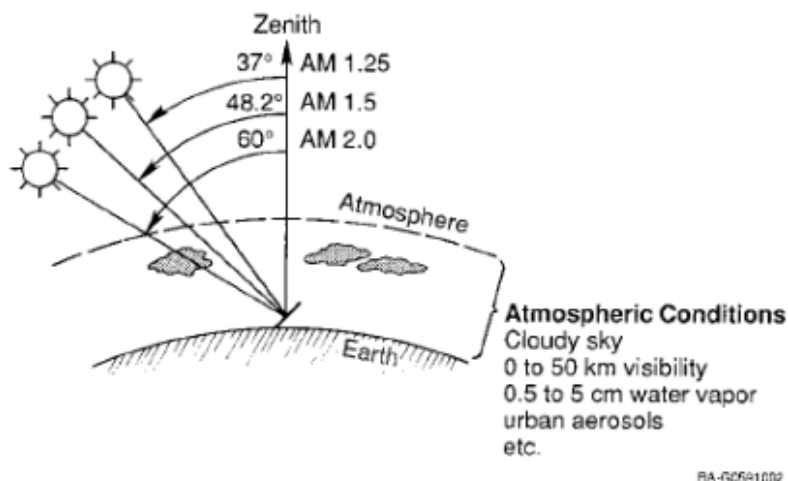


Figura 3.1.2. Ángulo altura solar para distintos valores de AM, Riordan and Hulstron (1990).

La masa óptica de aire, AM, puede ser calculada aplicando la simplificación de la Tierra como si fuera plana, por lo que seguiríamos la siguiente ecuación [13]:

$$AM = \frac{1}{\cos z} = \frac{1}{\sin h} \quad [\text{Ec. 3.1.1}]$$

z: ángulo cenital del sol.

h: altura solar.

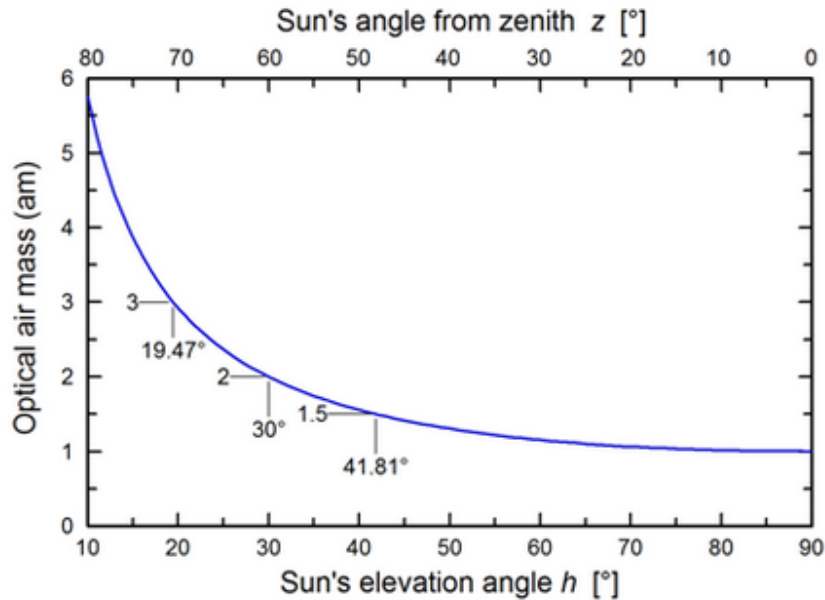


Figura 3.1.3. Masa óptica en función de la elevación solar para superficie terrestre plana [13].

Como es posible observar, la masa óptica aumenta de forma exponencial respecto a la disminución del ángulo de elevación solar.

Si tenemos en cuenta la curvatura de la Tierra, la fórmula para calcular AM resulta más compleja [16]:

$$AM = \frac{1}{\cos z + 0.50572(96.07995 \cdot -z)^{-1.6364}} = \frac{1}{\cos z + 0.50572(6.07995 \cdot +h)^{-1.6364}} \quad [\text{Ec. 3.1.2}]$$

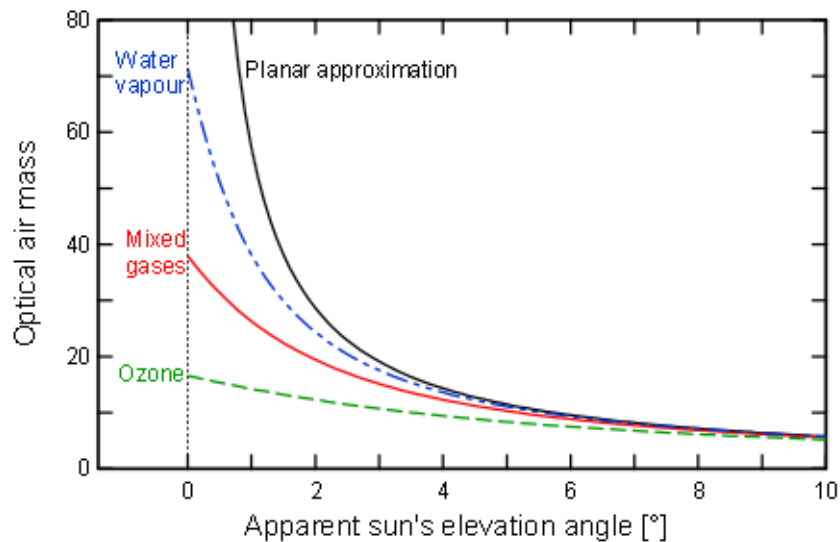


Figura 3.1.4. Masa óptica de varios componentes en función de la elevación solar [13].

En la figura 3.1.4 se muestra la diferencia entre la aproximación de la masa de aire para una Tierra plana y las masas de varios componentes de la atmósfera contando con la curvatura. Dependiendo del tipo de componente

afectará en mayor o menor medida la variación del ángulo solar, siendo destacable el vapor de agua en este caso.

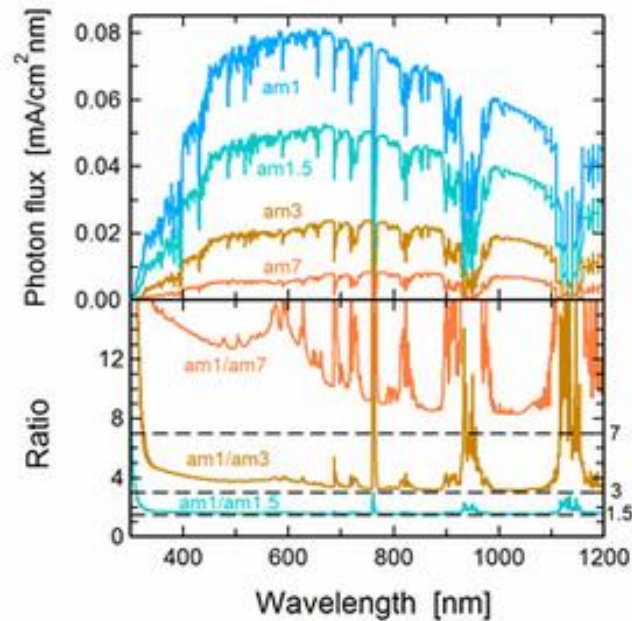


Figura 3.1.5. Flujo de fotones para diversos AM [13].

En la figura 3.1.5 se observa cómo varía el flujo de fotones que llegan a la superficie dependiendo de la masa de aire (AM). Entre las longitudes de onda de 400 y 700nm existe el mayor flujo, lo cual está directamente relacionado con ser la franja del espectro visible. Existen picos de absorción de fotones cerca de los 760 nm y los 950 nm.

Sin embargo también es posible para el cálculo de un modelo atmosférico que se tome en consideración no solamente la AM con el ángulo cenital sino también unas condiciones determinadas respecto a los componentes atmosféricos. Este modelo es útil cuando se desea modelar el espectro solar viendo cómo afecta cada componente de forma individual, ya que cada uno está caracterizado por distintos coeficientes de atenuación. Se puede calcular la masa óptica de cada uno de ellos por separado gracias a la ecuación 3.1.3 descrita a continuación [12], la cual utiliza la función de Kasten (1965) y Kasten y Young (1989) con una serie de ajustes para predecir una correcta masa óptica de valor unitario para el zenit solar:

$$m_i = [\cos Z + a_{i1} Z^{a_{i2}} (a_{i3} - Z)^{a_{i4}}]^{-1} \quad [\text{Ec. 3.1.3}]$$

Siendo Z el ángulo cenital, m_i la masa óptica de los componentes expresados en la tabla 3.1 para los respectivos coeficientes:

Extinction process	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	a_{i4}	$m_i @ Z=90^\circ$
Rayleigh	4.5665E-1	0.07	96.4836	-1.6970	38.136
Ozone	2.6845E+2	0.5	115.420	-3.2922	16.601
Nitrogen dioxide	6.0230E+2	0.5	117.960	-3.4536	17.331
Mixed gases	4.5665E-1	0.07	96.4836	-1.6970	38.136
Water vapor	3.1141E-2	0.1	92.4710	-1.3814	71.443
Aerosols	3.1141E-2	0.1	92.4710	-1.3814	71.443

Tabla 3.1. Coeficientes para el cálculo de la masa óptica de los componentes atmosféricos [12].

1.1.1 ESPECTRO Y ATMÓSFERA DE REFERENCIA

La medición de este espectro antes de entrar en la atmósfera, y por tanto sin haber sido alterado prácticamente, se expresa en la Norma 2000 ASTM Standard Extraterrestrial Spectrum Reference E-490-00, que fue desarrollada por la American Society for Testing and Materials para el uso por parte de la comunidad aeroespacial. En dicha norma queda aceptada la constante solar (la integral de la radiación del espectro extraterrestre) con el valor de $1366,1 \text{ W/m}^2$. También en dicha norma se pueden encontrar las constantes solares para el resto de planetas de nuestro sistema solar.

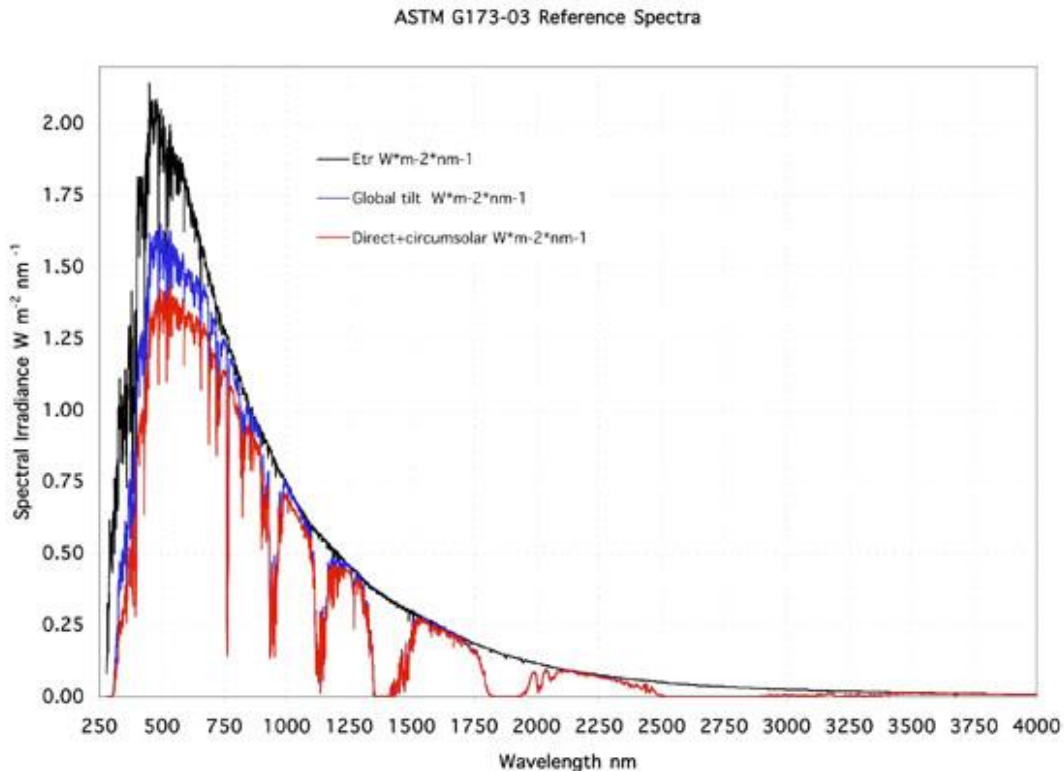


Figura 3.1.1.1. Espectro solar bajo diferentes masas de aire basado en la norma ASTM [17].

En la figura 3.1.1.1 podemos observar los diferentes espectros solares dependiendo de la masa de aire, el AM1.5 es el estándar que llega a la superficie terrestre según la norma ASTM G-173-03 (International standard ISO 9845-1, 1992) mientras que el AM0 (línea negra) es aquel que aún no ha cruzado la atmósfera.

Existen dos estándares para el espectro que llega a la superficie, el primero AM1.5G (línea azul) es el global que incluye la radiación directa y difusa, el segundo es el AM1.5D (sólo directa, línea roja). Este último puede aproximarse si redujésemos el espectro AM0 en un 28% (10% por la dispersión y 18% de absorción). Mientras que el global integra una densidad de potencia de 1000 W/m^2 , AM1.5D establece 900 W/m^2 [18].

Las condiciones para la atmósfera estándar fueron seleccionadas como la media de los estados de EEUU a lo largo de un año sobre un plano inclinado 37° [17]:

- La atmósfera estándar de los EE.UU. de 1976 con temperatura, presión, densidad de aerosoles, densidad del aire y densidad de especies moleculares especificada en 33 capas.
- Masa de aire absoluta de 1.5 (ángulo de cenit solar $48,19^\circ$).
- Turbidez de Angstrom a 500 nm de 0,084c.
- Columna total de vapor de agua equivalente de 1,42 cm.
- Columna total de ozono equivalente de 0,34 cm.
- Albedo espectral superficial (reflectividad) documentado en la base de datos de reflectancia espectral ASTER de Jet Propulsion Laboratory.

1.1.2 DISPERSIÓN DE RAYLEIGH Y MIE

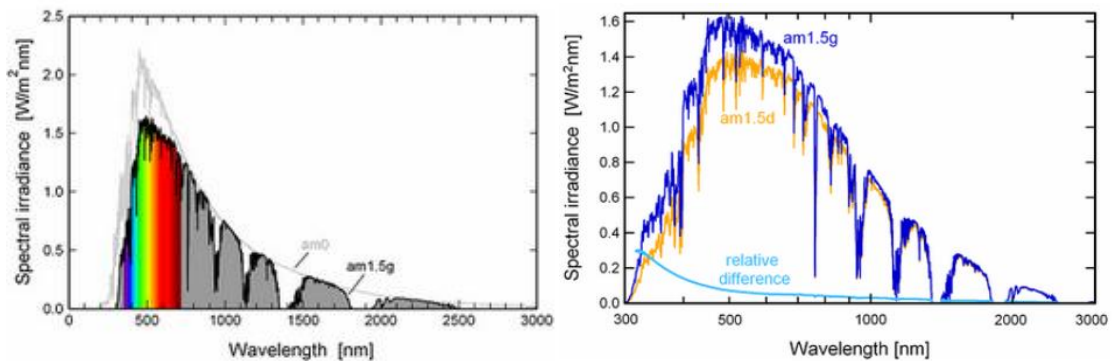


Figura 3.1.2.1. A la izquierda, espectro global en color (AM1.5) respecto al estratosférico (AM0). A la derecha, espectro global en azul y directo en naranja con la diferencia entre ambos en celeste [13].

Existe gran diferencia entre el espectro de radiación global y el de directa, la dispersión de partícula es esencial, en especial en las longitudes de onda corta. Esta se caracteriza en la atmósfera por los efectos de dispersión de Rayleigh y de Mie. La primera resuelve la ecuación de onda electromagnética en coordenadas esféricas (Iqbal, 1983) para partículas con dimensión mucho menor que la onda de radiación que incide y caracteriza la dispersión en la región del espectro visible azul (ello explica el color del cielo). Por otro lado, la dispersión de Mie se debe principalmente a los aerosoles y afecta en mayor medida a la radiación incidente como veremos en el apartado 3.5 de los aerosoles.

La dispersión asociada a las moléculas de aire, cuyo tamaño se aproxima a 1 \AA es la de Rayleigh y depende del espesor óptico normal de la molécula. El criterio para diferenciar cuando predomina una u otra dispersión según el tamaño de la partícula fue establecido por Siegel y Howell en 1981 [10]:

- a) Cuando $\pi d/\lambda < 0.6/n$ (siendo d el diámetro de la partícula en μm , λ la longitud de onda del rayo incidente y n su índice de refracción) la dispersión de Rayleigh domina. Este proceso de dispersión es idéntico hacia delante y hacia atrás.
- b) Cuando $0.6/n < \pi d/\lambda < 5$ prevalece la solución de Mie. Esta aumenta el tamaño y el brillo de la aureola solar y se produce mayor “radiación circumsolar”, la cual se comporta similar a la directa pese a ser difusa. Este proceso dispersa mayor energía hacia delante y está directamente relacionado con el tamaño de las partículas.
- c) $5 < \pi d/\lambda$, rara vez ocurre en la atmósfera.



Figura 3.1.2.2. Dispersiones de Rayleigh y Mie [19].

Para el cálculo de la dispersión de Rayleigh es posible tomar como referencia el modelo de SMARTS [10], el cual calcula el espesor óptico considerando una longitud de onda λ en μm , la presión del lugar p y la de referencia a nivel del mar $p_0 = 1013,25 \text{ hPa}$:

$$\tau_{R\lambda} = \left(\frac{p}{p_0}\right) / \left[a_0 \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^4 + a_1 \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^2 + a_2 + a_3 \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^{-2} \right] \quad [\text{Ec. 3.1.2.1}]$$

Siendo $\lambda_0 = 1 \mu\text{m}$, $a_0 = 117.3405$, $a_1 = -1.5107$, $a_2 = 0.017535$ y $a_3 = -8.7743 \times 10^{-4}$

La transmitancia que presenta la masa de aire atmosférica está directamente relacionada con la de Rayleigh y depende, como es de suponer, de la altura a la que nos encontremos: esto se debe a que los rayos solares atravesarán una menor franja de aire si nos encontramos en una zona situada a mayor altitud. También en la

figura 3.1.2.3 verificamos cómo AM afecta principalmente a las longitudes de ondas cortas, siendo a partir de los 600 nm cuando transmite más del 90% de la radiación. Este último caso está referido a la atmósfera estandar (AM 1.5) para una localidad a nivel del mar.

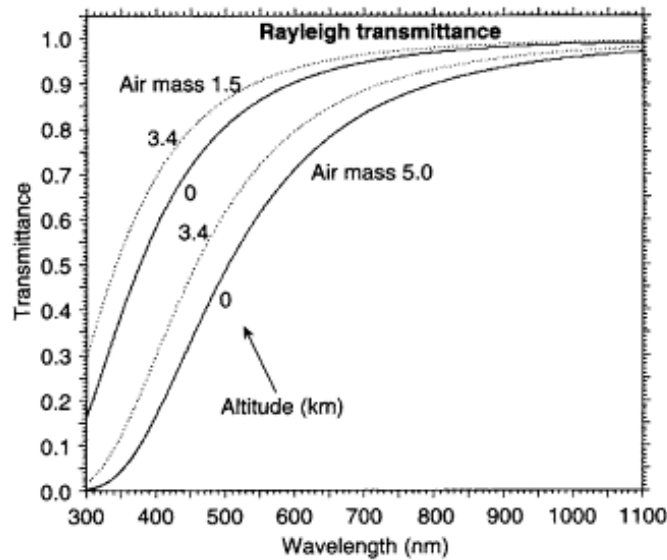


Figura 3.1.2.3. Transmitancia de Rayleigh en la atmósfera a nivel del mar (línea continua) y a altitud de 3,4km (línea punteada) para las masas de aire de 1.5 y 5 [10].

En la figura 3.1.2.4 se pueden ver claramente los efectos del vapor de agua en la región infrarroja (por encima de 0,7μm), también los de dispersión debido a las partículas en las zonas del espectro cercanas a 0,4 μm (violeta y azul). Es destacable en la parte de radiación ultravioleta la actuación del ozono.

Ello explica por qué el amanecer y el atardecer se ve de color rojo, ya que la radiación debe cruzar una atmósfera con una masa de aire de valor cercano a AM30, mientras que a medio día en alta montaña el efecto de los filtros atmosféricos es menor y el cielo es más limpio, llegando mayor radiación de menor onda dentro del espectro visible, se distinguen cielos más azules [20].

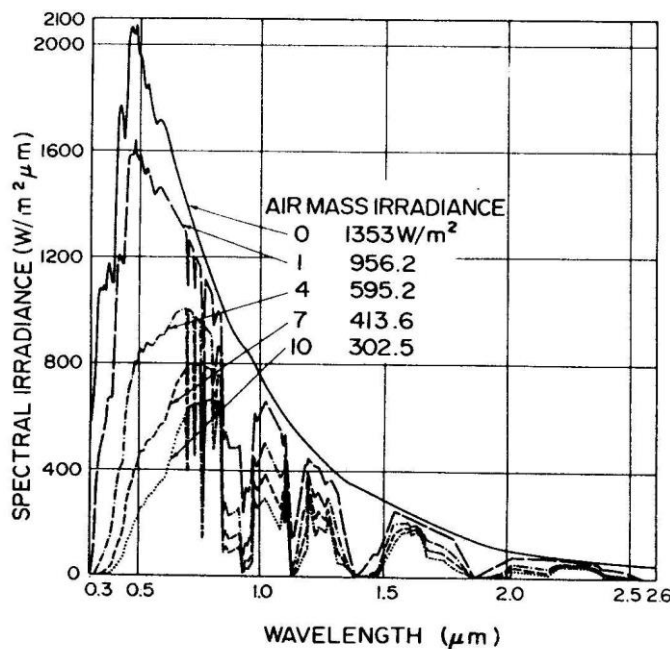


Figura 3.1.2.4. Irradiancia del espectro solar para diferentes masas de aire partiendo de la atmósfera estándar U.S., 20mm de PW, 3,4mm de ozono, a nivel del mar y siendo el aire muy limpio (Thekaekara, 1976).

3.2 VAPOR DE AGUA (PW):

El vapor de agua atmosférico o PW (Precipitable Water) es otro de los elementos atmosféricos con mayor capacidad de actuar sobre el espectro de radiación.

El agua deja pasar sin absorber la mayor parte de las longitudes de onda relacionadas con el espectro visible, una propiedad importante para que la vegetación terrestre pueda realizar su fotosíntesis. Pese a esta “transparencia”, existe cierto grado de absorción en el color rojo, al contrario que el azul, este último es dispersado con mayor intensidad y por ello las zonas donde hay gran cantidad de agua (lagos, mares, ...) suelen verse de color azul [21].

El vapor de agua tiene siete principales bandas de absorción, las cuales vemos definidas en la siguiente tabla:

Nombre de la banda	Región espectral (μm)	Máxima absorción (μm)
α	0.7 - 0.74	0.718
0.8μ	0.79 - 0.84	0.810
$\rho\sigma\tau$	0.926 - 0.978	0.935
φ	1.095 - 1.165	1.130
ψ	1.319 - 1.498	1.395
Ω	1.762 - 1.977	1.870
χ	2.520 - 2.845	2.680

Tabla 3.2.1. Bandas de absorción del vapor de agua [22].

Es interesante la capacidad de tiene de reducir la radiación de onda larga y cómo ello está directamente relacionado con el propio espectro de emisión del agua como muestra la figura 3.2.1.

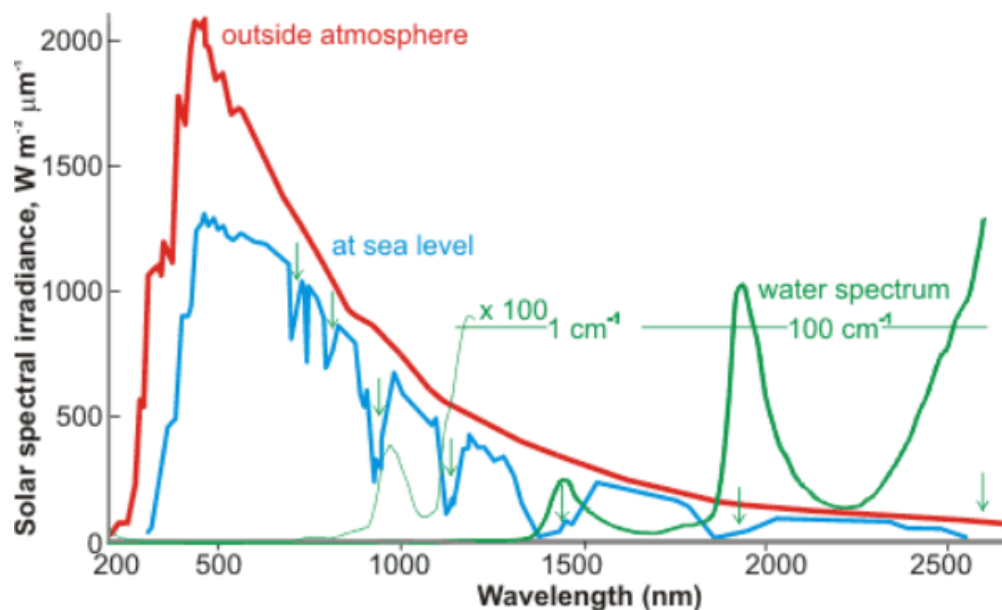


Figura 3.2.1. Relación del espectro del vapor de agua y el solar [21].

Como vemos en la figura 3.2.1, hay dos pequeños picos de absorción entre 700 y 800 nm, pero después se hace más claro el efecto del PW en la ventana espectral de absorción del agua que se encuentra entre 800 y 1400 nm aproximadamente. En esta franja ocurren los tres picos de absorción de mayor relevancia, como hemos visto en la tabla, en las longitudes de onda de 935, 1130 y 1395 nm.

Además, existe una pequeña oscilación en la parte del espectro entorno a los 514 nm, la cual tiene a aumentar si la temperatura del ambiente es alta.

También es posible ver de forma más clara en la siguiente gráfica las longitudes de onda donde el vapor de agua dejará pasar menor radiación, que confirma las variaciones en el espectro solar de la figura 3.2.1.

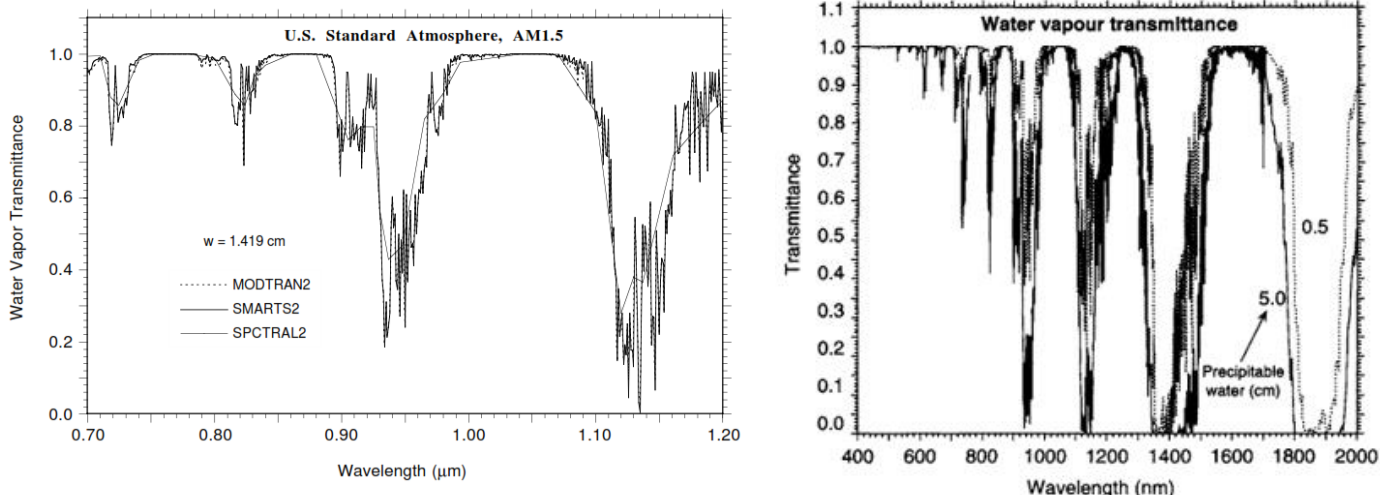


Figura 3.2.2. Transmitancia del vapor de agua para una atmósfera estándar y para condiciones secas y húmedas [12].

Ambas figuras están referidas a una atmósfera estándar estadounidense, sin embargo en la figura izquierda hay una comparativa entre varios tipos de modelado espectral para una humedad de 1,419 cm de agua (la estándar) mientras que a la derecha la curva es mucho más abrupta y determina transmitancias menores. Esto se debe a que está representado tanto para una atmósfera seca ($w=0,5$ cm) más característica de invierno (incluso polar) y una atmósfera de mayor humedad ($w=5$ cm) referida a un clima tropical o de verano, teniendo en ella un mayor peso el vapor de agua a la hora de definir el espectro ya que sus limitaciones son de mayor magnitud. También vemos como los efectos de una alta PW afectan en mayor medida a las longitudes de onda larga.

La medida del vapor de agua que se realiza en este caso es de la altura (cm) de una teórica columna de agua líquida de sección 1cm^2 formada por todo el vapor de agua condensado desde el suelo hacia arriba en la dirección del zenit solar. Esta disminuye rápidamente con la altitud como se comprueba en la figura 3.2.5 [10].

Para el cálculo de la transmitancia del vapor de agua atmosférico se puede utilizar el modelo SPCTRAL2 [24], el cual emplea una ecuación de mayor simplicidad:

$$T_{w\lambda} = \exp\left[\frac{-0.2385A_{w\lambda}w m_w}{(1+20.07A_{w\lambda}w m_w)^{0.45}}\right] \quad [\text{Ec. 3.2.1}]$$

Dicha transmitancia depende de la masa óptica m_w , del paso óptico w del vapor de agua atmosférico (cm) y del coeficiente de absorción $A_{w\lambda}$, el cual depende de la longitud de onda y por tanto tendrá valores más altos en las bandas de absorción de la tabla 3.2.1. Este último se puede encontrar en el apéndice del modelo SPCTRAL2 [24].

Sin embargo, SMARTS2[10] propone un modelo más actualizado y preciso para mayor número de longitudes de onda. Este modelo sigue la siguiente ecuación:

$$T_{w\lambda} = \exp\{-[(m_w w)^{1.05} f_w^n B_w A_{w\lambda}]^c\} \quad [\text{Ec. 3.2.2}]$$

En este caso n y c son exponentes dependientes de la longitud de onda, B_w es el factor corrector necesario para tener en cuenta que el proceso de absorción depende de la distancia respecto a la banda central de absorción. Por último, f_w es un factor que ajusta el modelo según valores de presión y longitud de onda. $A_{w\lambda}$ se hallará esta vez en el apéndice del proyecto, perteneciente al modelo SMARTS2.

$$f_w = k_w [0.394 - 0.26946\lambda + (0.46478 + 0.23757\lambda)P] \quad [\text{Ec. 3.2.3}]$$

Donde $k_w=1$ si $\lambda \leq 0,67\mu\text{m}$, en cualquier otro caso será:

$$k_w = (0.98499 + 0.023889\lambda)w^q \quad [\text{Ec. 3.2.4}]$$

$$q = -0.02454 + 0.037533\lambda \quad [\text{Ec. 3.2.5}]$$

Los exponentes n y c se calculan siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$n = 0.88631 + 0.025274\lambda - 3.5949\exp(-4.5445\lambda) \quad [\text{Ec. 3.2.6}]$$

$$c = 0.53851 + 0.03262\lambda + 1.5244\exp(-4.2892\lambda) \quad [\text{Ec. 3.2.7}]$$

Por último queda definir el factor corrector B_w :

$$B_w = h(m_w w)\exp(0.1916 - 0.0785m_w + 4.706E - 4m_w^2) \quad [\text{Ec. 3.2.8}]$$

En el caso de que $A_{w\lambda} < 0.01$:

$$h(m_w w) = 0.624m_w w^{0.457} \quad [\text{Ec. 3.2.9}]$$

En caso contrario se aplicará:

$$h(m_w w) = (0.525 + 0.246m_w w)^{0.457} \quad [\text{Ec. 3.2.10}]$$

Además de ser un importante absorbedor, el vapor de agua puede afectar a las partículas de los aerosoles, en especial cuando la humedad está por encima del 80%. En muchos casos estos aerosoles son una mezcla de partículas higroscópicas, capaces de absorber humedad, que aumentan de tamaño y absorben y dispersan fotones en mayor medida [10].

Una variación del espectro solar modificando únicamente la cantidad de vapor de agua en la atmósfera se muestra en la figura 3.2.3. Los efectos del vapor como se ha comentado se restringen a zonas muy específicas del espectro y, en casos extremos ($PW=6 \text{ atm-cm}$), pueden verse picos de absorción en zonas previas a los 700 nm.

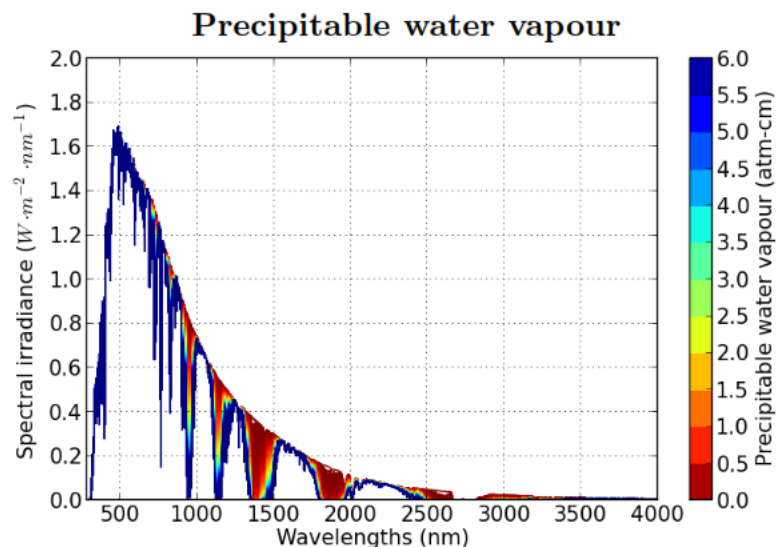


Figura 3.2.3. Variación del espectro en función de la cantidad de vapor de agua en atmósfera [15].

Respecto a cómo está distribuido el vapor de agua a lo largo de la atmósfera terrestre, la humedad del aire no está repartida de forma homogénea a lo largo del globo, la región ecuatorial presenta una mayor concentración que cualquier otra zona, por lo que este factor será determinante a la hora de comprender el espectro solar que se obtiene en dichas zonas (al contrario que la masa de aire atmosférica, que tendría menos peso).

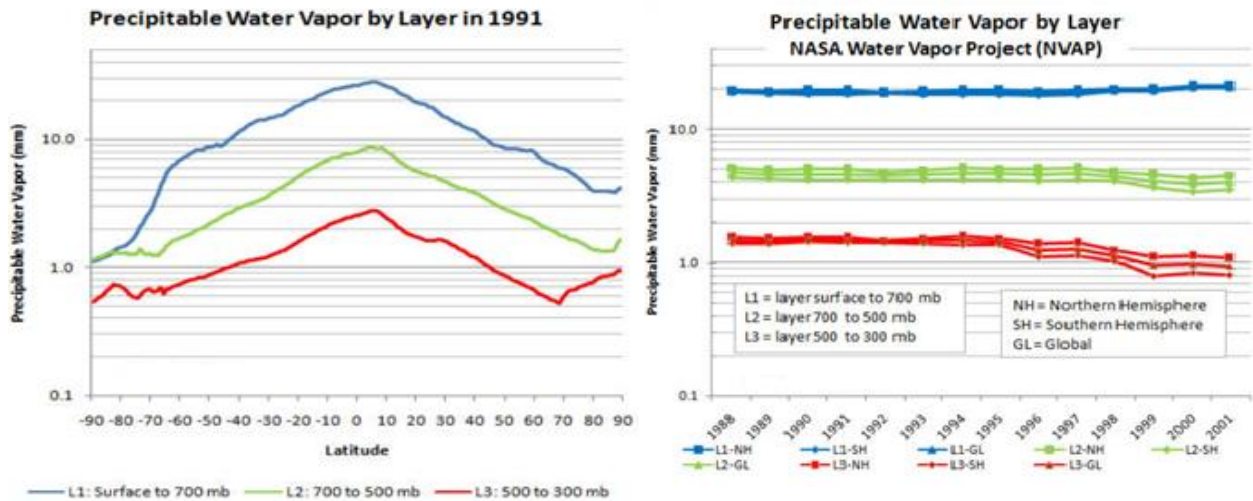


Figura 3.2.4. Distribución del PW según altitud y latitud [24].

En las dos gráficas superiores vemos la distribución del vapor de agua en 1991 dependiendo de la latitud (Figura 3.2.4 izquierda), lo que confirma la concentración dentro de los trópicos. También a la derecha se puede ver la concentración de agua dependiendo de la capa de altitud en la que nos encontremos y su evolución a lo largo de los años, habiendo siempre un mayor nivel de PW en el hemisferio norte que en el sur.

Una sonda de la NASA identificó en mayo de 2009 varias de las zonas de mayor concentración de vapor de agua como puede verse en la figura 3.2.5; algunas son África central, la zona amazónica, el sudeste asiático

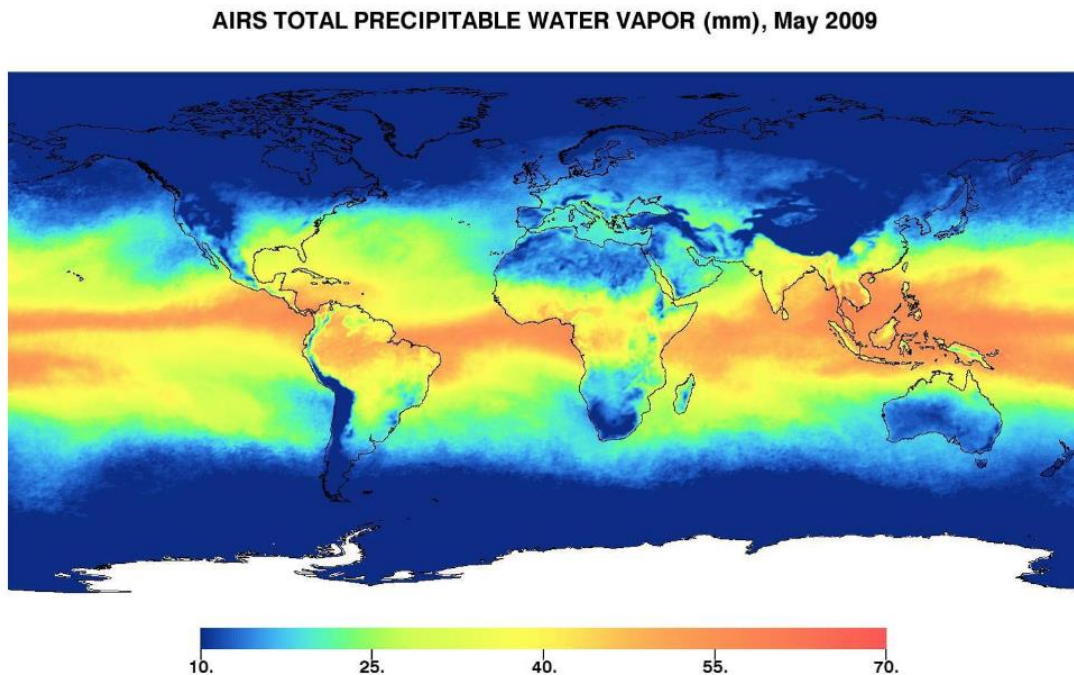


Figura 3.2.5. Cantidad de vapor de agua en la atmósfera del globo en mayo de 2009 [25].

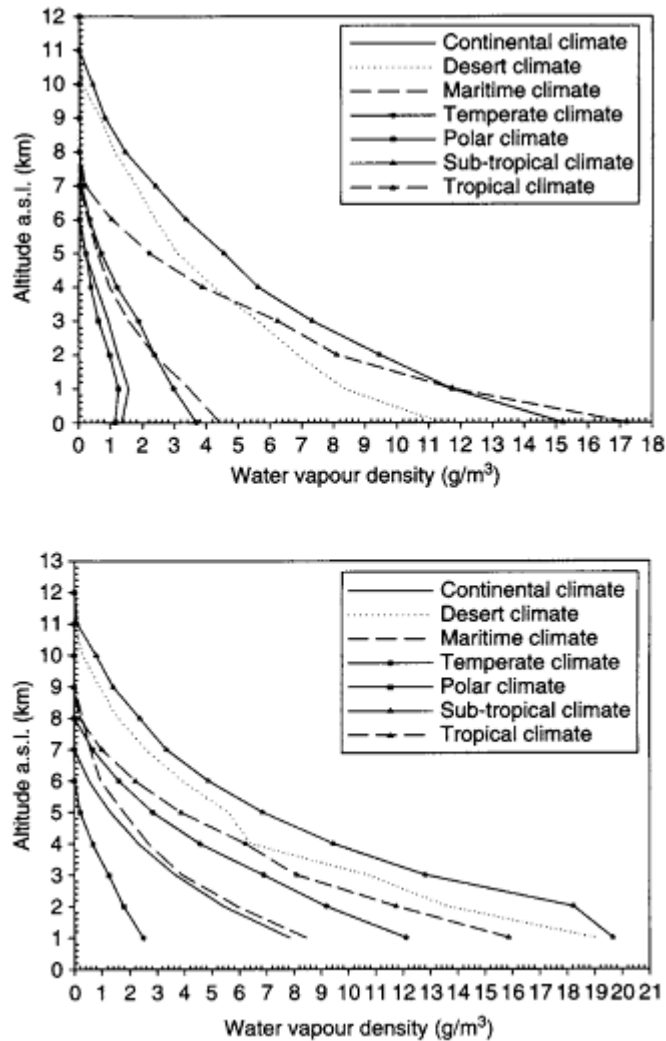


Figura 3.2.6. Densidad de vapor de agua según la atmósfera e invierno/verano [10].

Por último, a la hora de especificar según el clima de la zona en la que se realice el estudio, podemos diferenciar los gramos de vapor de agua que hallamos en cada clima según altitud y estación (invierno o verano). De forma clara el clima subtropical y tropical tienen mayor humedad en el ambiente, aunque el perfil de densidad de agua del desértico también es elevado pese a ser un clima seco; esto se debe a que al ser tener unas temperaturas elevadas su atmósfera acepta grandes cantidades de agua sin llegar a saturarse o tener una humedad relativa elevada. El polar y el continental resultan ser los que menos vapor tienen en la atmósfera debido a condensación que existe por sus bajas temperaturas y por tanto la pequeña capacidad del ambiente a tener alta humedad absoluta en el aire.

3.3 ABSORCIÓN DE MEZCLA DE GASES UNIFORME (CH₄, CO, CO₂, N₂, N₂O y O₂)

Son una serie de gases (CH₄, CO, CO₂, N₂, N₂O y O₂) los cuales se mantienen a concentraciones aproximadamente constantes en la atmósfera respecto a la altitud, por lo que no varían de forma característica entre diferentes emplazamientos.

El CO₂ en específico es uno de los gases con mayor influencia en el efecto invernadero y su concentración actual en la atmósfera ronda las 411 ppm (4 de abril de 2019) [26], aunque sufre variaciones con las estaciones. Sin embargo este componente no influye de gran manera por debajo de los 1440 nm (donde tiene su primer pico de absorción) ya que principalmente absorbe la parte del espectro infrarrojo. Existen una zona entre los 2675 y 2800 en la que su transmitancia puede llegar a cero, impidiendo el paso de toda radiación. Sin embargo, debido a su actuación en las regiones de onda alejadas del espectro visible no tendrá repercusión en zonas que sí interesan para la aplicación de ciertos tipos de tecnologías, como puede ser el caso de la fotovoltaica. De manera contraria sí deberá ser considerado este componente para otras aplicaciones como en el aprovechamiento de energía

térmica, el cual utiliza también parte del espectro infrarrojo.

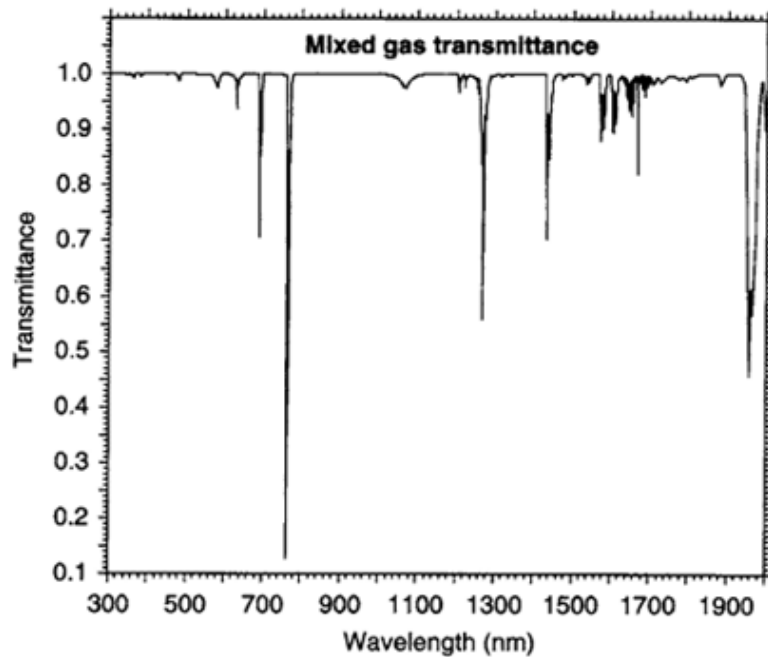


Figura 3.3.1. Transmitancia de la mezcla de gases a nivel del mar para AM 1.5 [10].

En la figura 3.3.1 podemos ver los picos en la transmitancia de estos gases para la atmósfera estándar a nivel del mar. Es especialmente importante la absorción por parte del CO_2 a 760 y 690 nm, ya que es un pico que afecta al espectro visible. Para la longitud de onda de 759 nm la transmitancia es de 0,97, mientras que en 760 nm puede llegar a 0,08 [12].

Para el cálculo de la transmitancia de la mezcla de gases es posible utilizar la siguiente ecuación propuesta [12]:

$$T_{g\lambda} = \exp[-(m_g u_g A_{g\lambda})^a] \quad [\text{Ec. 3.3.1}]$$

El parámetro m_g es la masa óptica de la mezcla de gases y $A_{g\lambda}$ es el coeficiente de absorción, el cual tiene valor inferior a 1 en los picos de absorción (véase apéndice). El exponente a tiene un valor de 0,5641 para $\lambda < 1 \mu\text{m}$ e igual a 0,707 para cualquier longitud de onda superior. Por último, u_g es la altura óptica efectiva, la cual depende de la presión y la temperatura y cuyo valor es usado para el O_2 por debajo de $1 \mu\text{m}$ y para el CO_2 por encima [12]:

$$u_g = c_0 P^{c_1} \theta^{c_2} \quad [\text{Ec. 3.3.2}]$$

Siendo en las constantes para el O_2 , $c_0 = 4.9293$, $c_1 = 1.8849$, $c_2 = 0.1815$, y para el CO_2 , $c_0 = 4.8649$, $c_1 = 1.9908$, and $c_2 = -0.697$, cuya unidad es km. Respecto al ajuste según la presión está el parámetro $P = p/p_0$, y para la temperatura $\theta = 288.15/T$ (K).

3.4 TRAZAS DE GASES (NO , NO_2 , NO_2 y O_3)

Por otro lado, varios de los gases como el NO , NO_2 , NO_2 e incluso el O_3 tienen gran importancia en las zonas con grandes poblaciones, ya que son producidos por muchas de las actividades humanas de las ciudades (transporte, industria...) y conforman parte de la polución.

La dificultad principal del cálculo en este caso es conocer las concentraciones de los diferentes gases ya que puede ser muy variable en el tiempo, aunque es posible obtener estos datos si la calidad del aire está monitorizada. En el siguiente estudio están representadas tres atmósferas (ver tabla 3.4.1), la transmitancia que tienen sus gases contaminantes (oligogases) y la total respecto a la radiación directa.

Atmósfera	Altitud (km)	Presión (hPa)	Turbidez	Vapor de agua (cm)	AM	Concentración O ₃ (atm-cm)
Limpia	2	790	0,02	0,5	1.5	0,3
Media	0.5	950	0,1	1,5	2	0,3
Contaminada	0	Atm	0,4	2,5	5	0,35

Tabla 3.4.1. Tres tipos de atmósferas según su contaminación [10].

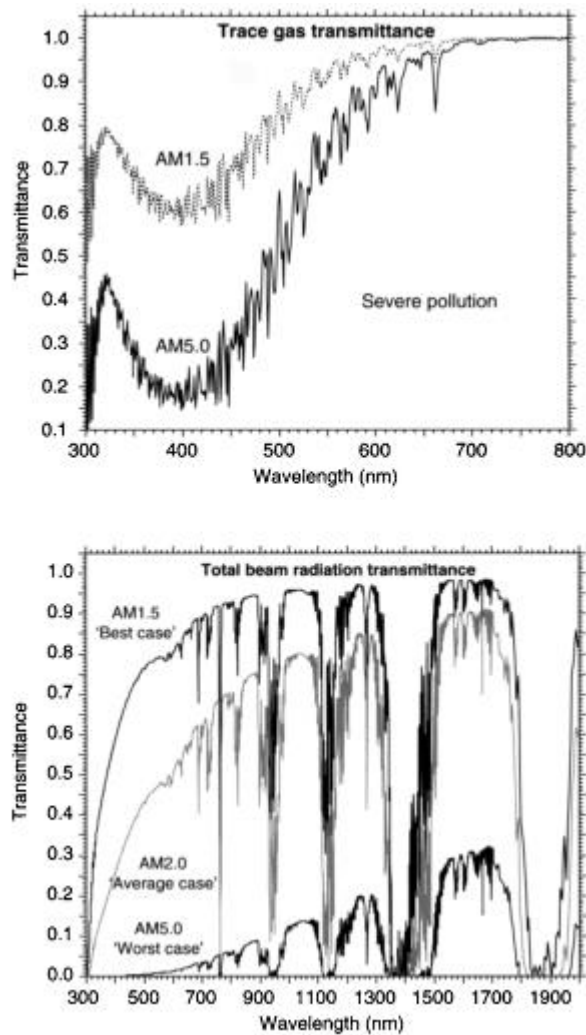


Figura 3.4.1. Transmitancia de las trazas de gases para AM1.5 y AM5 con polución (figura superior) y transmitancia atmosférica de la radiación directa para diferentes atmósferas contaminadas (figura inferior) [10].

La baja transmitancia en la zona de los 400 nm se debe principalmente a la acción del dióxido de nitrógeno.

Como se puede comprobar, hay una clarísima disminución en la radiación directa en el caso con mayor polución, siendo especialmente crítica la zona de 1150 nm y entre 1310 y 1500 nm.

3.4.1 DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂) Y OZONO (O₃):

Dentro de la mezcla de gases comentada en el apartado 3.4 se encontraba el dióxido de nitrógeno, el cual se halla de forma natural en la atmósfera en concentraciones no perjudiciales para la salud. Sin embargo, desde el aumento de la actividad humana a partir de la revolución industrial y el crecimiento exponencial de las ciudades la contaminación en países como EEUU, China, Japón o los países europeos este contaminante ha aumentado en cantidad en la atmósfera, siendo más de un tercio el que se produce de forma antropogénica, y ello afecta directamente al espectro de radiación en su banda de absorción. Las principales fuentes de emisión se deben al sector del transporte (casi la mitad de las emisiones europeas de NO_x) y a la producción, distribución y uso industrial de la energía.

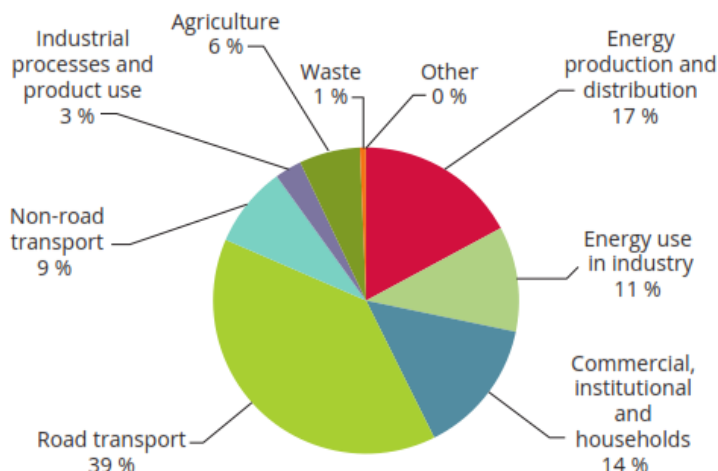


Figura 3.4.1.1. Fuentes de emisión de NO_x en EU, 2016 [27].

Un ejemplo de la distribución del NO₂ en la atmósfera es la figura 3.4.1.2., realizada a lo largo de agosto de 1997, en la que podemos comprobar como los países económica e industrialmente más desarrollados o que están en crecimiento como Brasil tiene mayores concentraciones de este componente en la capa de la troposfera.

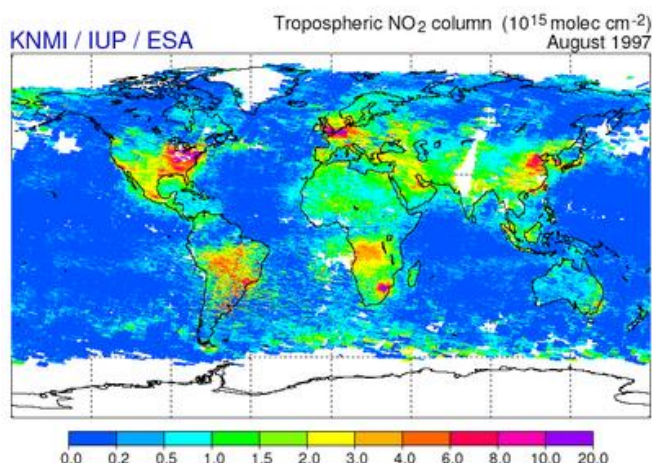


Figura 3.4.1.2. Distribución global del NO₂ atmosférico [28].

Este contaminante se produce principalmente a lo largo de la noche y alcanza sus mayores concentraciones por la mañana. Con la radiación solar se va reduciendo y tras una serie de reacciones atmosféricas supone una de las causas del aumento de la concentración del ozono a lo largo del día (véase figura 3.4.1.3).

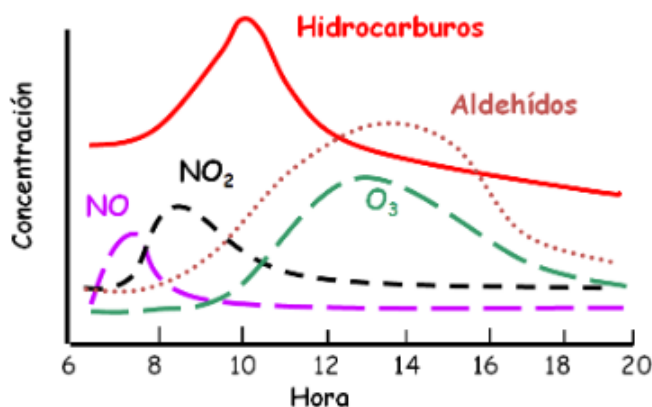


Figura 3.4.1.3. Evolución de contaminantes atmosféricos a lo largo del día [29].

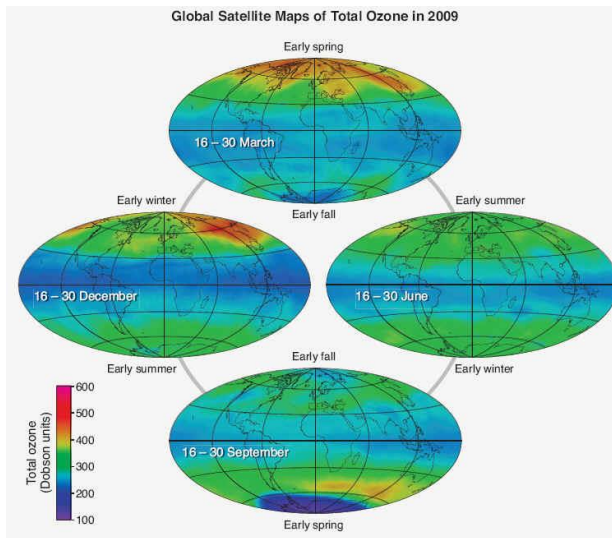


Figura 3.4.1.4. Ozono global según la estación, 2009 [30].

En las horas de mayor radiación (entre las 12 y las 14) es cuando se alcanza el pico de concentración de ozono.

La distribución del ozono a lo largo del globo tiene gran dependencia con la latitud del emplazamiento y con la estación en la que nos encontremos. La máxima latitud del ozono ocurre en los polos en sus respectivas primaveras, ya que durante el invierno se ha ido transportando hacia allí. Por el mismo hecho, se hallarán concentraciones de ozono menores en la zona de los trópicos a lo largo del año. Por último, es interesante destacar el agujero de ozono del polo sur donde el ozono es destruido por diversos procesos químicos [30].

EL espesor óptico del dióxido de nitrógeno y del ozono pueden ser calculado según las ecuaciones 3.4.1.1 y 3.4.1.2 respectivamente [12]:

$$\tau_{n\lambda} = u_n A_{n\lambda} \quad [\text{Ec. 3.4.1.1}]$$

$$\tau_{o\lambda} = u_o A_{o\lambda} \quad [\text{Ec. 3.4.1.2}]$$

En dicha ecuación u_n y u_o son los pasos ópticos efectivos (atm-cm), los cuales dependen de la concentración de los componentes, mientras que los parámetros $A_{n\lambda}$ y $A_{o\lambda}$ son los coeficientes de absorción y varían en función de la longitud de onda. El coeficiente de absorción se puede encontrar en el apéndice.

El dióxido de nitrógeno tiene una transmitancia menor en las zonas cercanas a 400 nm, como se comentó con anterioridad, y tiene una capacidad de absorber la radiación 100 veces mayor que la del ozono. Sin embargo, suele encontrarse en concentraciones mucho menores [10].

Por otro lado, el ozono se encarga de absorber las longitudes de onda inferiores a $0,31\mu\text{m}$ y reduce parcialmente las asociadas al rojo, en longitudes de $0,6\mu\text{m}$.

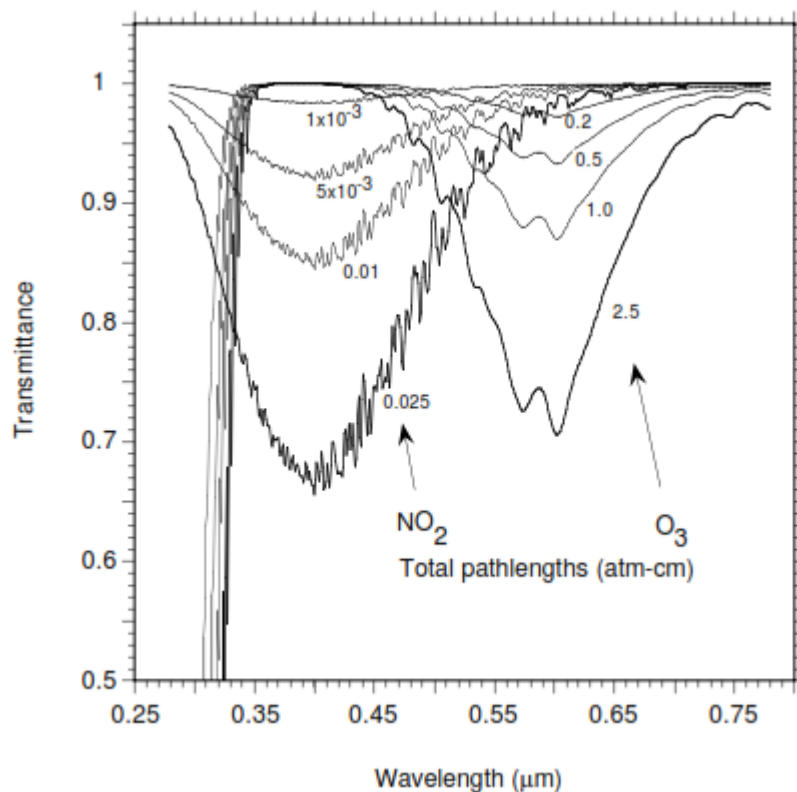


Figura 3.4.1.5. Transmitancia del ozono y del NO_2 para diferentes pasos ópticos [12].

El ozono es un claro bloqueo hacia las radiaciones ultravioletas, lo cual lo hace un elemento esencial en nuestra atmósfera para que se pueda desarrollar la vida animal. Sin embargo en nuestro estudio, el pico en la reducción de la transmitancia en las longitudes de onda entre 0,55 y 0,65 μm (las rojas como hemos comentado anteriormente) puede resultar un factor determinante en zonas de gran contaminación para las horas de mayor radiación del día.

Por otra parte, el NO_2 , para mucha menor longitud de paso óptico (atm-cm) tiene gran efecto en la zona cercana a las 0,4 μm , por lo que comienza a bloquear parte de la luz violeta y azul que nos llega del espectro visible.

3.5 AEROSOLLES:

Los aerosoles en la atmósfera son partículas diminutas de sólido o líquido suspendidas en el aire. Dichas partículas pueden haber sido producidas de forma natural, principalmente en forma de cenizas volcánicas, esporas, polen, sal marina o polvo natural; sin embargo en la actualidad cada vez están teniendo mayor peso en el cambio climático los aerosoles antropogénicos, es decir, originados por la actividad humana. Esto se debe mayoritariamente al sector de la industria y el transporte, ya que las reacciones de combustión derivan en humos con gran cantidad de partículas que fluyen hasta la atmósfera con las respectivas consecuencias climáticas y para la salud de los seres vivos que ello conlleva.

Pueden ser emitidas de forma directa a la atmósfera como el caso nombrado anteriormente o de forma indirecta gracias a las reacciones químicas de los gases precursores emitidos al ambiente. El ciclo de vida del aerosol termina de forma natural gracias a la acción gravitatoria, coagulación, condensación y finalmente precipitación [31].

Este hecho es determinante a la hora de caracterizar la atenuación de la radiación solar en la atmósfera, ya que los aerosoles participan en la difusión y absorción, siendo los principales protagonistas del primer fenómeno cuando el cielo se encuentra despejado [10]. Sin embargo existe una gran variedad de partículas de aerosol atmosférico respecto a concentración, tamaño y composición, además de su rápida variación en el tiempo y las condiciones atmosféricas. Todo ello hace que la creación de un modelo detallado sea demasiado difícil de realizar [12].

La dispersión de Mie está asociada al efecto de los aerosoles en la atmósfera debido al tamaño de las partículas

que los componen (10 veces mayor que las moléculas de aire como aproximación) y no tiene importante dependencia con la longitud de onda. La luz dispersada al no tener los componentes separados tras el impacto con la partícula sigue siendo blanca, lo cual explica el color de las nubes.

Los efectos de los aerosoles también engloban el de absorción, sin embargo, además de ser difícil estudiarlo de forma separada con el fenómeno de dispersión, este hecho no concierne a la hora de modelar el espectro de radiación directa (sí tendrá importancia en el cálculo de la radiación difusa) [10].

Utilizando una metodología simplificada para definir la transmitancia de los diferentes tipos de aerosoles, es posible considerar dos regiones espectrales (Bird 1984), por debajo y por encima de $\lambda_0=0,5 \mu\text{m}$. Ello afecta al cálculo del espesor óptico del aerosol $\tau_{a\lambda}$ (AOD) para una longitud de onda λ , el cual se calcula con la fórmula de turbidez de Angstrom β_i [12]:

$$\tau_{a\lambda} = \beta_i \left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right)^{-\alpha_i} \quad [\text{Ec. 3.5.1}]$$

En este caso si $\lambda < \lambda_0$ el exponente de la longitud de onda α_i sería igual a α_1 , si no se cumple será α_2 . Para la turbidez, $\beta_i = \beta_1 = 2^{\alpha_2 - \alpha_1} \beta$ si nos hallamos en el primer caso, sino $\beta_i = \beta_2 = \beta$. La longitud de onda $\lambda_1 = 1 \mu\text{m}$.

Para la ecuación 3.5.1 usaremos los coeficientes de la tabla 3.5.1:

Relative Humidity		0%	50%	70%	80%	90%	95%	98%	99%
Rural	α_1	0.933	0.932	0.928	0.902	0.844	0.804	0.721	0.659
	α_2	1.444	1.441	1.428	1.376	1.377	1.371	1.205	1.134
Urban	α_1	0.822	0.827	0.838	0.829	0.779	0.705	0.583	0.492
	α_2	1.167	1.171	1.186	1.229	1.256	1.252	1.197	1.127
Maritime	α_1	0.468	0.449	0.378	0.226	0.232	0.195	0.141	0.107
	α_2	0.626	0.598	0.508	0.286	0.246	0.175	0.098	0.053
Tropospheric	α_1	1.010	1.008	1.005	0.980	0.911	0.864	0.797	0.736
	α_2	2.389	2.379	2.357	2.262	2.130	2.058	1.962	1.881

Tabla 3.5.1. Exponentes de longitud de onda para diferentes tipos de aerosoles y respecto a la humedad relativa del ambiente [12].

El coeficiente de longitud de onda depende principalmente de la distribución de tamaño de las partículas de los aerosoles en la atmósfera. Un valor comúnmente usado para aerosoles de origen urbano o continental es $\alpha=1,3$ (Angstrom, 1929); sin embargo, los valores pueden variar, los exponentes más bajos están asociados a partículas de mayor tamaño (arena, ceniza volcánica o sal marina) mientras que las partículas pequeñas (las cuales se encuentran a mayor altitud, como troposféricas) tienen valores de α mayores.

Generalmente se acepta un valor de α comprendido entre 0,5 y 2,5 (Iqbal, 1983), aunque puede llegar hasta el 4 para partículas diminutas. Comprobando la tabla 3.5.1 se ve la poca dependencia de este parámetro hasta que la humedad relativa alcanza valores superiores al 70%, en cuyo caso empieza a descender. Esto se debe a que los aerosoles comienzan a juntarse con el vapor de agua y a condensarlo, creando partículas de mayor tamaño y disminuyendo su AOD. Esto implica que su transmitancia se vuelve mayor para longitudes de ondas corta, por lo que son partículas más permisivas con el paso de los rayos y además tienden a caer por su peso.

El coeficiente de turbidez de Angstrom, β , tiene el valor del espesor óptico del aerosol para $\lambda=1\mu\text{m}$. Este representa la turbidez de la atmósfera debido a la dispersión de la radiación por parte de las partículas y suele variar entre 0 y 0,5, llegando a valores cercanos e incluso superiores a 1 para situaciones extremas como tormentas de arena [10].

Sin embargo, debido a la complejidad para la obtención de la turbidez de Armstrong, este se puede calcular con el AOD del aerosol para $\lambda=0,5 \mu\text{m}$, el cual es el utilizado con mayor frecuencia para los modelos atmosféricos [12]:

$$\tau_{a0.5} = 2^{\alpha^2} \beta \quad [\text{Ec. 3.5.2}]$$

La figura 3.5.1 compara la transmitancia del aerosol para dos masas de aire, AM1.5 (estándar) y AM5, variando el índice de turbidez según si el aerosol es de tipo rural (cielo limpio $\beta=0,02$) o si es de origen urbano (mayor contaminación y turbidez muy elevada $\beta=0,5$).

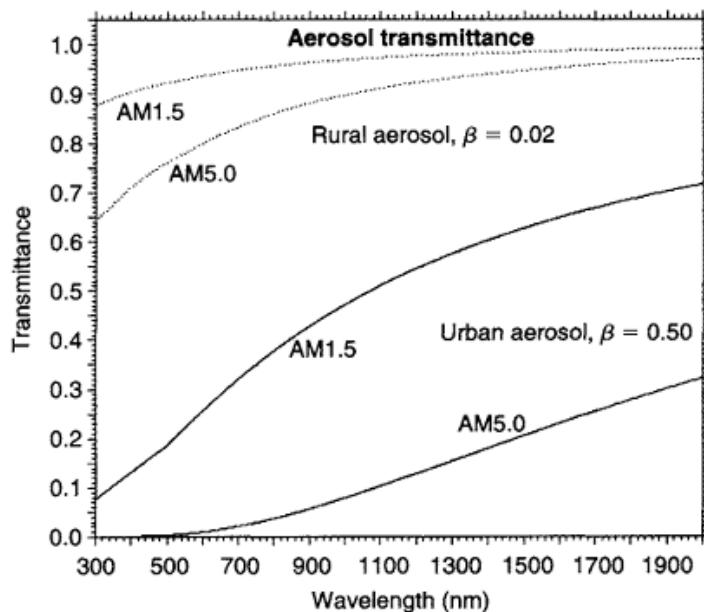


Figura 3.5.1. Transmitancias del aerosol para condiciones de baja turbidez (curvas superiores) y de alta turbidez (curvas inferiores) para dos masas de aire: AM1.5 y AM5 [10].

Claramente se muestra el efecto que tiene una mayor turbidez del aire ambiente, ya que esta es directamente proporcional al espesor óptico y este a su vez afecta a la transmitancia del aerosol. Debido a que el aerosol urbano comprende partículas de mayor tamaño y por tanto su α es menor, la curva no alcanza rápidamente una constante como en el ambiente rural, en el que a partir de 900 nm no existe gran variación. Además, la curva muestra una menor transmitancia para AM5 como era de esperar y también un efecto muy importante del ambiente contaminado para longitudes de onda del espectro visible.

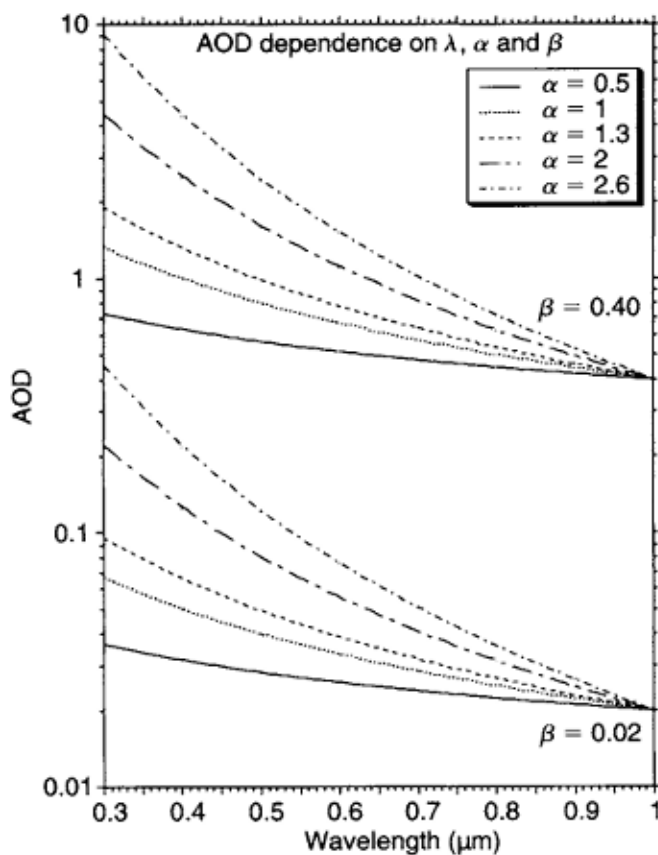


Figura 3.5.2. Dependencia del AOD (Aerosol Optical Depth o espesor óptico del aerosol) respecto a la longitud de onda y para turbidez leve ($\beta=0,2$) y alta ($\beta=0,4$) con diversos exponentes α [10].

El efecto de menores tamaños de partículas (como las de aerosol troposférico) conlleva un menor efecto

exponencial en la dependencia del AOD con la longitud de onda (figura 3.5.2). Además de las repercusiones claras de un ambiente con contaminación como se comentó en la figura 3.5.1, existe el claro hecho de la importancia que tienen las partículas de menor tamaño en la difusión de las longitudes de onda menores.

Una variación del espectro solar modificando únicamente el espesor óptico de los aerosoles en la atmósfera se muestra en la figura 3.5.3. Este efecto depende del tipo de aerosol, de la concentración del mismo, de la humedad, etc. Sin duda el efecto de los aerosoles en la zona del espectro visible es muy importante. Por lo tanto es un parámetro a tener en cuenta en cualquier emplazamiento.

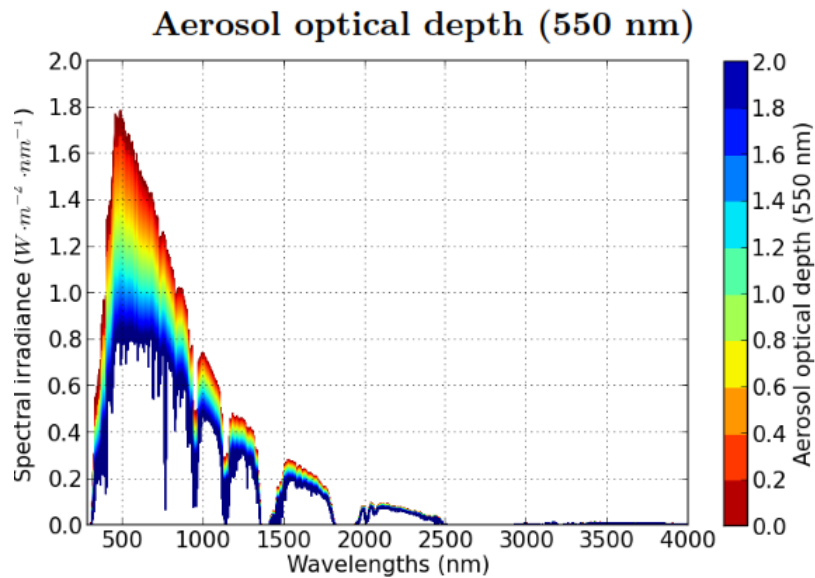


Figura 3.5.3. Variación del espectro en función del AOD en 550 nm [15].

La distribución del espesor óptico de los aerosoles en el globo terráqueo puede ser observada en la figura 3.5.4 gracias al MISR (Multi-angle Imaging SpectroRadiometer) de la NASA. Los datos están recogidos desde diciembre de 2001 a noviembre de 2002 para una longitud de onda $\lambda=550$ nm. En la imagen los cielos más limpios se ven de color azul o violeta, mientras que el color rojo representa una mayor turbidez atmosférica. Las principales fuentes de polvo mineral son los desiertos (Sahara, Gobi, etc.) lo cual se ve con claridad en el norte de África. Por otro lado, la primavera en el hemisferio sur (septiembre-noviembre) se caracteriza por un aumento de la quema de biomasa, el cual se puede identificar en el sur de América, África y en Australia. También es interesante mencionar el efecto de las nubosidades en la Antártida y Groenlandia que aumentan el AOD en determinadas épocas de forma extrema [32].

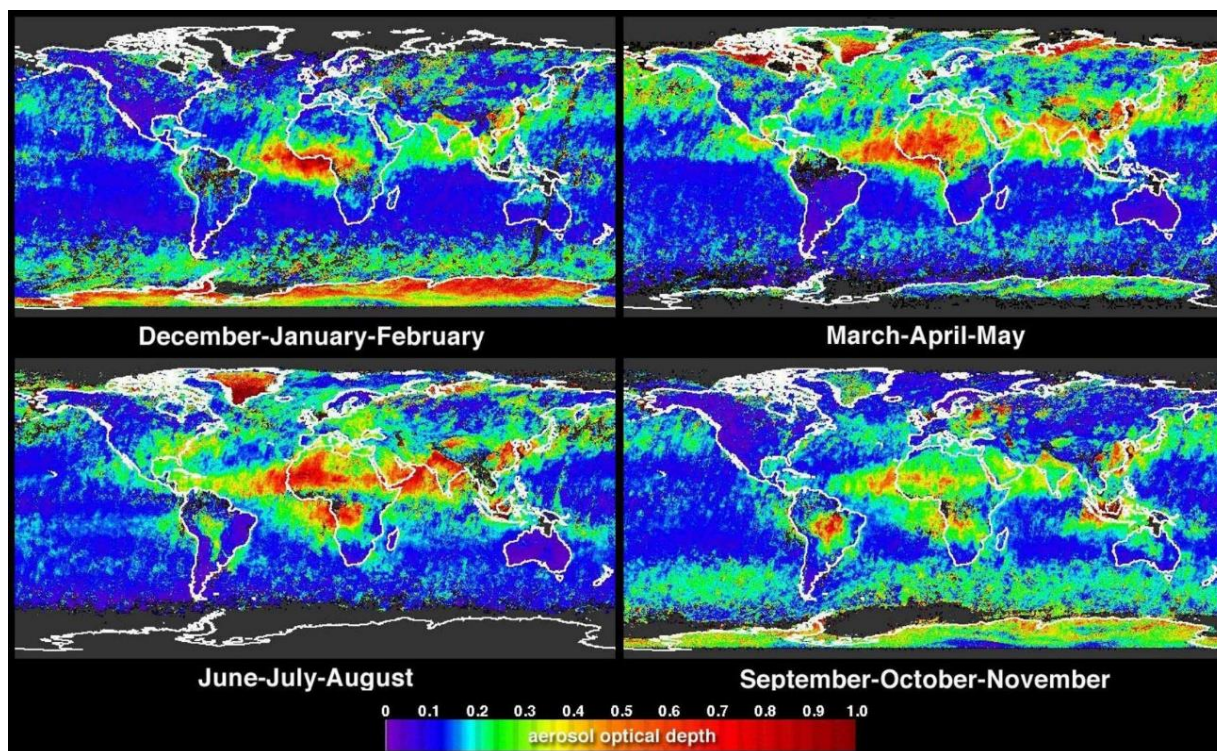


Figura 3.5.4. Mapa global del AOD según las estaciones en el año 2001/2002 [32].

Los radios característicos de diferentes tipos de aerosoles determinan la transmitancia que ofrecen respecto a la radiación como se ha visto anteriormente. El volumen vertical de aerosol respecto al radio de la partícula (figura 3.5.5) es una forma de obtener los radios más característicos de cada tipo de aerosol, siendo de menor tamaño aquellos derivados de la combustión (origen principalmente antropogénico).

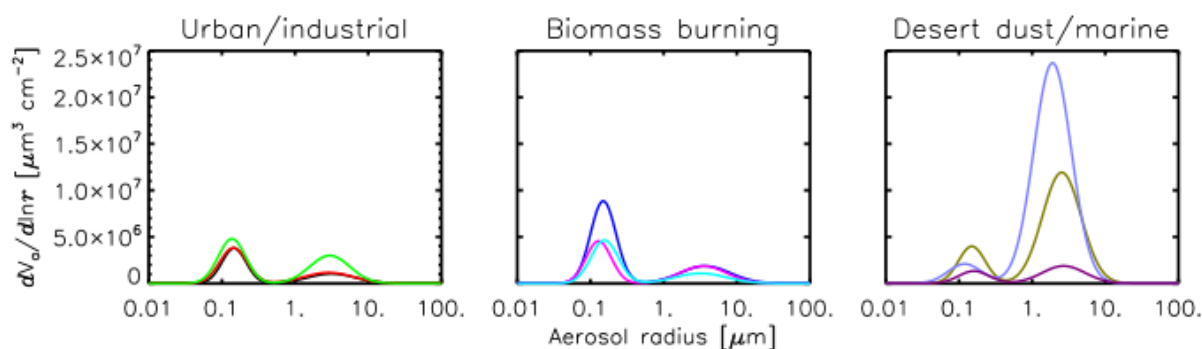


Figura 3.5.5. Distribuciones verticales de volumen de aerosol respecto al radio, tomando como ejemplo varias localizaciones (AERONET,2002).

El aerosol urbano de Washington DC (línea negra) y París (roja) tienen un AOD medio de 0,24 y 0,26 respectivamente, mientras que la Ciudad de México (verde) plantea unos niveles de contaminación tan elevados que su espesor óptico medio llega a 0,36. Respecto a la quema de biomasa, los principales focos son la zona del Amazonas (azul), la sabana africana (magenta) y los grandes bosques de Estados Unidos y Canadá (cian), cuyos AOD son de 0,74, 0,38 y 0,4. El aerosol marino de Hawaii (morado) representa un menor AOD y concentración que las zonas de polvo del desierto como el Golfo Pérsico (oliva) o Cabo Verde (lila) [33].

Las emisiones de los diferentes tipos de aerosoles dependiendo de las regiones es fundamental para identificar el peso que tiene cada tipo a la hora de modificar la transmitancia atmosférica.

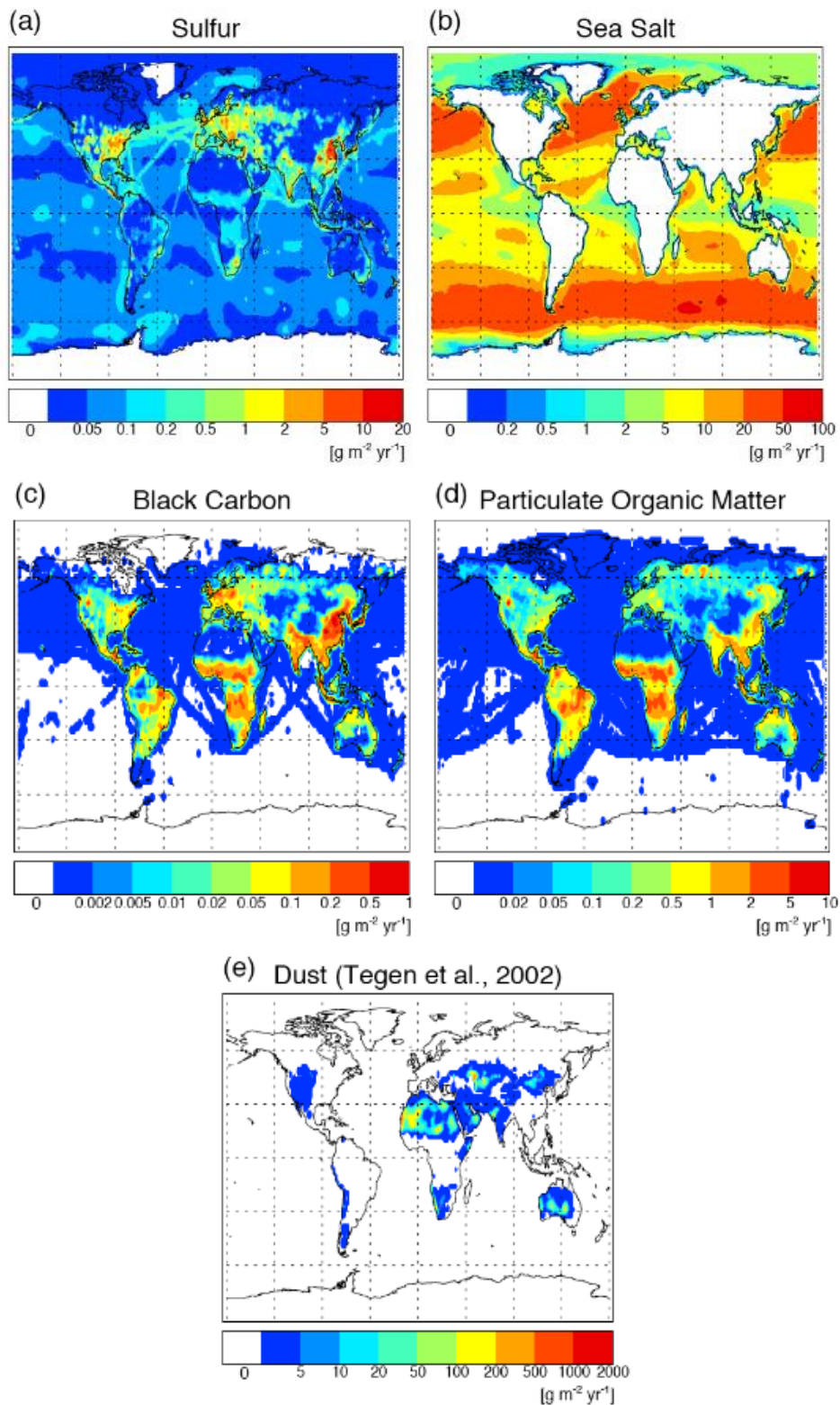


Figura 3.5.6. Emisión anual media de varios aerosoles (Stier et al., 2005) [34].

En la figura 3.5.6 se comprueba que las emisiones de sulfuro están asociadas a aerosoles urbanos de los países con mayor desarrollo industrial como son Estados Unidos, Japón o el este de China y los europeos. Respecto a las partículas de carbón negro y las orgánicas su origen se debe principalmente a la quema de biomasa, lo cual ocurre en aquellas zonas como Sudamérica, África central o sudeste asiático donde el sector terciario está en progreso y los procesos de combustión son mayoritariamente incompletos.

3.6. NUBOSIDAD

Las nubes son masas de vapor de agua que, tras un proceso de condensación parcial, se encuentran suspendidas en la atmósfera. Pueden contener partículas de humos o polvo, pero principalmente son numerosas gotitas de agua líquida o congelada, de milímetros de ancho, que dispersan la luz aportando a la nube una apariencia difusa y lechosa. Además de ser partícipes en la componente difusa de la radiación, las nubes suponen parte de la absorción atmosférica por estar formadas de vapor de agua y su característica principal es la reflexión de la luz [35].

Existen 10 tipos diferentes de nubes atendiendo a varias características: altura a la que se encuentra, precipitación que pueden causar, forma y proceso de formación.

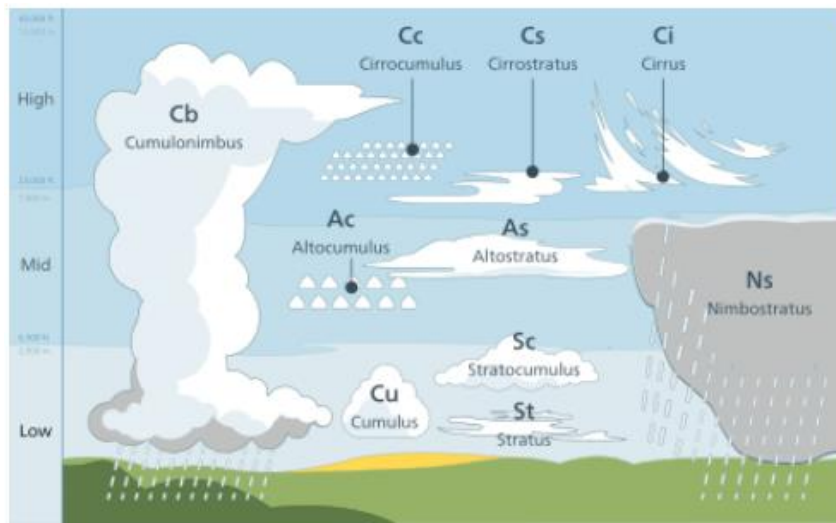


Figura 3.6.1. Tipos de nubes [35].

Una posible caracterización de la radiación solar a través de diferentes tipos de nube para estimar su atenuación se muestra en la figura 3.6.2. En dicha figura es posible observar la importancia que tiene la altura a la que se encuentra la nube, siendo el porcentaje de irradiancia atenuada cercana al 20% para nubes altas, 50% para nubes medias y hasta un 75% en nubes más cercanas al suelo [35].

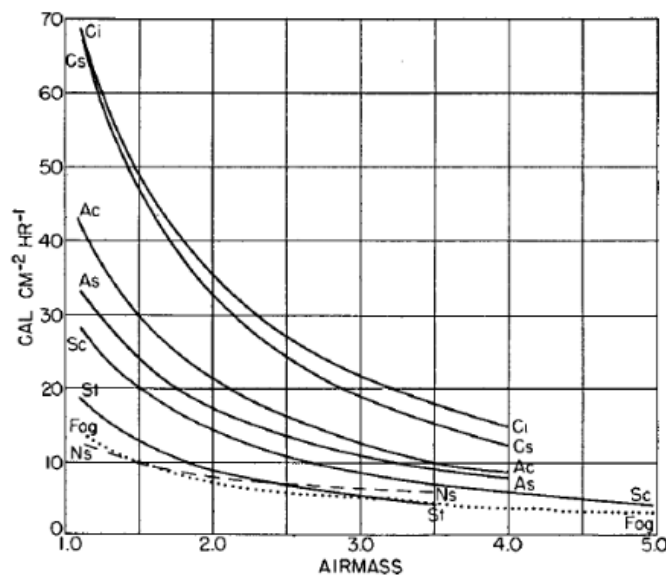


Figura 3.6.2. Radiación solar sobre una superficie horizontal a través de diferentes tipos de nubes y en función de AM, según Haurwitz [36].

Las nubes no entran en consideración para la mayoría de los modelos atmosféricos sencillos debido a la complejidad que conlleva el estudio de las mismas. Esto se debe a que varían rápidamente en el tiempo y existen diferentes tipos, tamaños, alturas a las que se encuentran, etc... Sin embargo, debido a su elevado albedo reflejan una importante parte del espectro de onda corta, en especial aquellas nubes bajas y gruesas. Las que se hallan a mayor altura y son más finas son en su mayoría transparentes a la onda corta y absorben y reemiten la radiación de onda larga.

Los efectos espectrales de las nubes aún son difíciles de explicar, aunque por lo general se supone que amortiguan el espectro “aplanándolo” en la zona de pico de la región azul (450-490 nm aproximadamente). Sin embargo este hecho experimentalmente tiene dependencia con los aerosoles que haya en la atmósfera y por tanto de su AOD, siendo verídico si este tiene valores bajos [37].

En caso de que el espesor óptico del aerosol sea elevado, hay un incremento del pico en la región del espectro azul, lo cual puede deberse a que la radiación difusa en la luz azul sufre un incremento al ser dispersada en mayor grado [37]. El efecto de los aerosoles sobre las nubes sigue siendo una línea de investigación científica; los autores Kaufman y Korem (2006) defienden que un aumento en la concentración de los aerosoles produce mayor cobertura de nubes, siendo este efecto menor si la absorción de radiación por parte de los aerosoles se incrementa. También estiman que la cobertura global de nubes ha aumentado en un 5% gracias a los aerosoles de tipo antropogénico [38].

Huan Jia Yan (2015) para tener en cuenta la nubosidad, propone una corrección de la irradiancia en función de la longitud de onda calculada en cielos despejados:

$$\frac{I_{\lambda, \text{corregida}}}{I_{\lambda, \text{calculada}}} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}}\right)^{\delta} + \sigma \quad [\text{Ec. 3.6.1}]$$

En dicha ecuación se toma la longitud de onda de referencia, λ_{ref} , como 760 nm, el parámetro δ determina el ajuste espectral y depende del espesor y la cantidad de nube. δ toma valores positivos en el caso de aplanamiento del espectro y negativos cuando el AOD es alto y se potencia la zona espectral azul. En el caso de σ , se trata de factor escalar y depende de la obstrucción del Sol por parte de la nube. Este parámetro aumenta en orden negativo para nubes que obstruyan en mayor grado. Por último se define el valor k, el cual expresa el porcentaje de área de cielo que cubren las nubes, y el cual debe ser definido antes que σ [37].

	k	δ	σ
$\tau_a > 1$	0-20%	0	0.1
	20-30%	-0.2	-0.1
	30-50%	-0.15	-0.4
	>50%	-0.1	-0.4
$\tau_a < 1$	<50%	0.15	0.1
	>50%	0.05	-0.4

Tabla 3.6.1. Valores de corrección para cielo nublado dependiendo del espesor óptico del aerosol y el porcentaje de cielo cubierto [37].

Este método de ajuste del espectro para diferentes nubosidades aún requiere de mayor grado de estudio ya que no siempre es compatible con el modelo SMARTS para el cual está específicamente diseñado; para ciertos valores de k los resultados no son los esperados [37]. Este modelo propuesto puede ser útil como una aproximación para modelar la nubosidad sin una complejidad alta en los parámetros necesarios, pese a ello, debido a su inexactitud, a no tener una validación posterior y a la necesidad de conocer datos muy variables y empíricos como el porcentaje de cielo cubierto, no se tendrá en cuenta este modelo a la hora de estimar el espectro solar en el capítulo 4 “Caracterización espectral para diferentes emplazamientos”.

3.7 RADIACIÓN DIFUSA

La componente difusa de la radiación se puede estimar según modelos simplificados que utilizan las mismas funciones de transmitancia que para el cálculo de la componente directa, con ciertas modificaciones. Ello tiene cierta justificación teórica al aceptar que los fotones que no son directamente transmitidos son dispersados en todas direcciones y, una fracción de dicha radiación va redirigida hacia la superficie conformando así la componente difusa de la radiación.

La radiación difusa en condiciones de cielos claros (sin nubosidades) es la suma de la difusión debida a tres factores: la dispersión de Rayleigh, la de los aerosoles y la retrodispersión proveniente entre el suelo y el cielo [12].

3.7.1 Componente de Rayleigh

La componente difusa de Rayleigh sigue la siguiente ecuación [10]:

$$I_{dR\lambda} = I_{o\lambda} F_R (1 - T_{R\lambda}^{0.9}) I_{o\lambda} T_{t\lambda} T_{g\lambda} T_{w\lambda} T_{aa\lambda} \cos Z \quad [\text{Ec. 3.7.1.1}]$$

En la ecuación 3.7.1.1 aparecen una serie de transmitancias que han sido calculadas con anterioridad en otros apartados, $T_{t\lambda}$, $T_{g\lambda}$, $T_{w\lambda}$, que son respectivamente la de las trazas de gases, la capa de gases uniforme y el vapor de agua. El término $I_{o\lambda}$ es la transmitancia efectiva del ozono, caracteriza la dispersión de este y depende de la cantidad. El parámetro $F_R = F_{R1} F_{R2}$, es el factor de dispersión molecular que determina la cantidad de fotones que son dispersados en dirección frontal, es decir, que pueden llegar a la superficie terrestre. El máximo valor de F_R es 0.5 ($F_{R1} = 0.5$) y decrece para longitudes de onda menores.

$F_{R2} = 1$ si $\tau_{R\lambda} < \tau_{Rm}$, de otra manera es:

$$F_{R2} = \exp \left[- \left(\frac{\tau_{R\lambda} - \tau_{Rm}}{\sigma_R} \right)^{0.72 + \cos Z} \right] \quad [\text{Ec. 3.7.1.2}]$$

Siendo sus coeficientes:

$$\sigma_R = 3.65 - 2.3 \exp(-4 \cos Z) \quad [\text{Ec. 3.7.1.3}]$$

$$\tau_{Rm} = 0.17 [1 - \exp(-8 \cos Z)] \quad [\text{Ec. 3.7.1.4}]$$

Por último, la transmitancia del proceso de absorción del aerosol se define en la ecuación 3.7.1.2:

$$T_{aa\lambda} = \exp[-m_a(1 - \omega_o)\tau_{a\lambda}] \quad [\text{Ec. 3.7.1.5}]$$

Esta transmitancia depende de la diferencia entre el espesor óptico del aerosol ($\tau_{a\lambda}$) y el definido para la dispersión ($\tau_{as\lambda}$). Como relación entre ambos parámetros se utiliza el albedo de dispersión del aerosol (ω_o), el cual tiene valores entre 0.6 y 0.98, lo cual significa que el proceso de dispersión domina sobre el de extinción en el caso de los aerosoles [10]. Valores altos del albedo se obtienen para humedades relativas atmosféricas superiores a 70%, dato que podemos comprobar en la figura 3.7.1.1 y que tiene un valor importante a la hora de determinar la componente difusa de la radiación en atmósferas con gran humedad.

$$\omega_o = \frac{\tau_{as\lambda}}{\tau_{a\lambda}} \quad [\text{Ec. 3.7.1.6}]$$

$$\omega_o = 0.9441 - 0.08817 \exp(1 - 3.3815\lambda) \quad [\text{Ec. 3.7.1.7}]$$

$$\omega_o = 0.8569 + 0.0436\lambda \quad [\text{Ec. 3.7.1.8}]$$

La ecuación 3.7.1.4 es para $\lambda < 2$, y la ecuación 3.7.1.5 para longitudes de onda mayores. Se han tomado ambas simplificadas, sin tener en cuenta el tipo de aerosol y otros factores, sólo la longitud de onda).

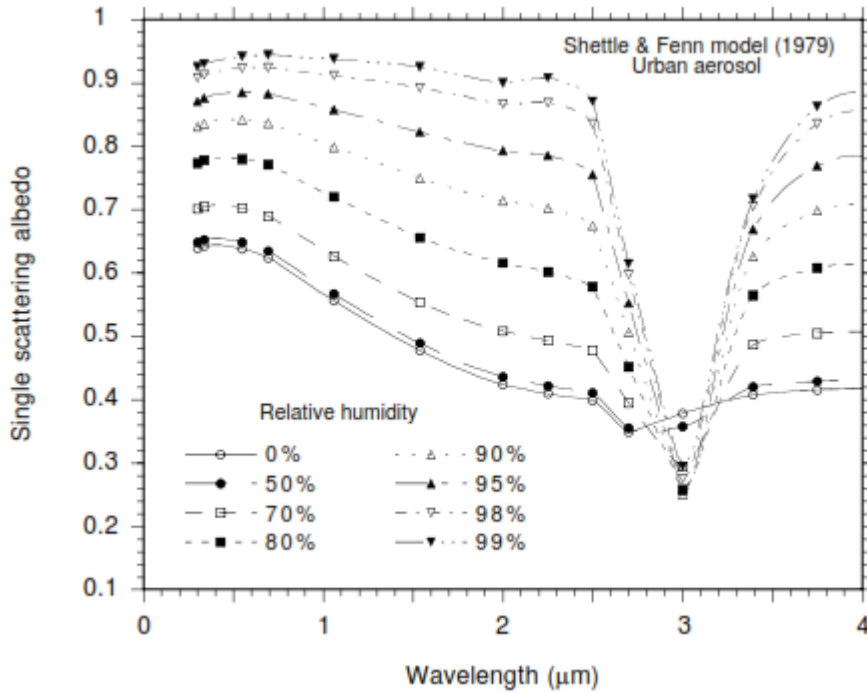


Figura 3.7.1.1. Relación del albedo de dispersión de aerosol urbano con la longitud de onda y la humedad relativa [12].

Como se puede comprobar en la figura, ω_o es mayor en atmósferas muy húmedas, lo cual se debe a que la dispersión predomina en gran manera sobre la absorción (ver ecuación 3.7.1.6).

Para calcular la transmitancia efectiva del ozono se han de seguir las siguientes ecuaciones [12]:

$$\Gamma_{o\lambda} = \exp(-\gamma_1 \tau_{o\lambda}^{0.95} - \gamma_2 \tau_{o\lambda}) \quad [\text{Ec. 3.7.1.9}]$$

$$\Gamma_{o\lambda} = \exp[-\gamma_3 - \gamma_2(\tau_{o\lambda} - 2)] \quad [\text{Ec. 3.7.1.10}]$$

Siendo la ecuación 3.7.1.6 es para $\tau_{o\lambda} \leq 2$, y la ecuación 3.7.1.7 para el resto de casos.

$$\gamma_1 = (-11.012 + 12.392m_o)/(1 + 0.23644m_o) \quad [\text{Ec. 3.7.1.11}]$$

$$\gamma_2 = 3.2656[1 - \exp(-0.46464m_o^{1.25})] - 0.965936\gamma_1 \quad [\text{Ec. 3.7.1.12}]$$

$$\gamma_3 = 1.93187\gamma_1 + 2\gamma_2 \quad [\text{Ec. 3.7.1.13}]$$

$$\gamma_4 = \exp(0.31045 + 0.001684m_o - 0.28549m_o^{-4}) \quad [\text{Ec. 3.7.1.11}]$$

3.7.2 Componente de aerosoles

La componente difusa de los aerosoles sigue la ecuación [10]:

$$I_{aR\lambda} = I_{o\lambda} F_{a\lambda} (1 - T_{as\lambda}) \Gamma_{o\lambda} T_{R\lambda} T_{t\lambda} T_{g\lambda} T_{w\lambda} T_{aa\lambda} \cos Z \quad [\text{Ec. 3.7.2.1}]$$

Ecuación muy similar a la de dispersión de Rayleigh, sin embargo ahora aparece el factor de dispersión frontal relativo a los aerosoles ($F_{a\lambda}$) y adquiere peso la trasmisión de los aerosoles relativa a la dispersión en vez de la de Rayleigh. La dispersión de la radiación por parte de los aerosoles se debe principalmente a la de Mie, la cual tiene un mayor efecto la radiación difusa que la de Rayleigh. Esto se debe a que las partículas asociadas a la dispersión de Mie tienen mayor tamaño y por tanto son capaces de dispersar mayor número de fotones de la radiación directa incidente [15].

La transmitancia de espesor para la absorción, $T_{as\lambda}$, puede ser calculada gracias a la siguiente fórmula [12]:

$$T_{as\lambda} = T_{a\lambda} / T_{aa\lambda} \quad [\text{Ec. 3.7.2.2}]$$

El factor de dispersión frontal es complejo de calcular ya que depende de dos parámetros de dispersión simple y

compleja, $F_{a1\lambda}F_{a2\lambda}$, que a su vez están relacionados con el tipo de aerosol, la humedad relativa, la longitud de onda y el ángulo cenital, siendo $F_{a\lambda} = F_{a1\lambda}F_{a2\lambda}$.

$$F_{a1} = 1 - 0.5 \exp[(a_{s0} + a_{s1}\cos Z)\cos Z] \quad [\text{Ec. 3.7.2.3}]$$

Cuyos factores son:

$$a_{s0} = [1.459 + (0.1595 + 0.4129F_g)F_g]F_g \quad [\text{Ec. 3.7.2.4}]$$

$$a_{s1} = [0.0783 - (0.3824 + 0.5874F_g)F_g]F_g \quad [\text{Ec. 3.7.2.5}]$$

$$F_g = \ln(1 - g) \quad [\text{Ec. 3.7.2.6}]$$

El factor de asimetría g es clave a la hora de definir correctamente las características ópticas de los aerosoles. Este tiene dependencia con la humedad y el tipo de aerosol, sin embargo se seguirá el modelo de Standard Radiation Atmosphere (SRA) de IAMAP (1986) el cual no tiene en cuenta la humedad, lo cual implica mayor sencillez en el cálculo:

$$g = \text{Max}(0.99, \sum_{i=0}^{i=4} k_i \lambda^i) \quad [\text{Ec. 3.7.2.7}]$$

Aerosol type	Continental	Urban	Maritime
k_0	7.5141E-01	6.6851E-01	7.7876E-01
k_1	-3.5648E-01	-2.0657E-01	-1.3625E-01
k_2	2.9982E-01	1.4680E-01	1.6092E-01
k_3	-8.1346E-02	-4.0565E-02	-5.6749E-02
k_4	7.3038E-03	3.8811E-03	6.1178E-03

Tabla 3.7.2.1. Coeficientes para la determinación del factor de asimetría del modelo de aerosol SRA [12].

El segundo parámetro que se ha de calcular es [12]:

$F_{a2} = 1$ si $\tau_{as\lambda} \leq 2$, de otra manera es:

$$F_{a2} = \exp\left[-\left(\frac{\tau_{as\lambda}-2}{\sigma_a}\right)^5\right] \quad [\text{Ec. 3.7.2.8}]$$

Siendo sus coeficientes:

$$\sigma_R = \text{Max}\{1, 3.5 - (4.53 - 0.82\tau_{as\lambda})\cos Z + (8.26 - 6.02\tau_{as\lambda})\cos^2 Z\} \quad [\text{Ec. 3.7.2.9}]$$

$$\zeta = -0.5 + \exp[0.24(\cos Z_0)^{-1.24}] \quad [\text{Ec. 3.7.2.10}]$$

$$\cos Z_0 = \text{Max}(0.05, \cos Z) \quad [\text{Ec. 3.7.2.11}]$$

3.7.3 Componente de retrodispersión suelo-cielo

La componente difusa por la retrodispersión entre suelo y cielo de sigue la ecuación [12]:

$$I_{dR\lambda} = \rho_{s\lambda} \frac{\rho_{bn\lambda} I_{bn\lambda} \cos Z + \rho_{d\lambda} I_{d0\lambda}}{1 - \rho_{d\lambda} \rho_{s\lambda}} \quad [\text{Ec. 3.7.3.1}]$$

El parámetro $\rho_{s\lambda}$ es la reflectancia general del cielo, $\rho_{bn\lambda}$ es la reflectancia del suelo para la componente directa incidente mientras que $\rho_{d\lambda}$ es la reflectancia para la parte difusa que incide, $I_{d0\lambda}$.

En la figura 3.7.3.1 podemos ver varios valores de reflectancia de suelo, los cuales varían en gran medida en diferentes longitudes de onda exceptuando quizás el basalto. La nieve fresca destaca por reflejar las zonas de

menor longitud de onda, aquellas del espectro ultravioleta.

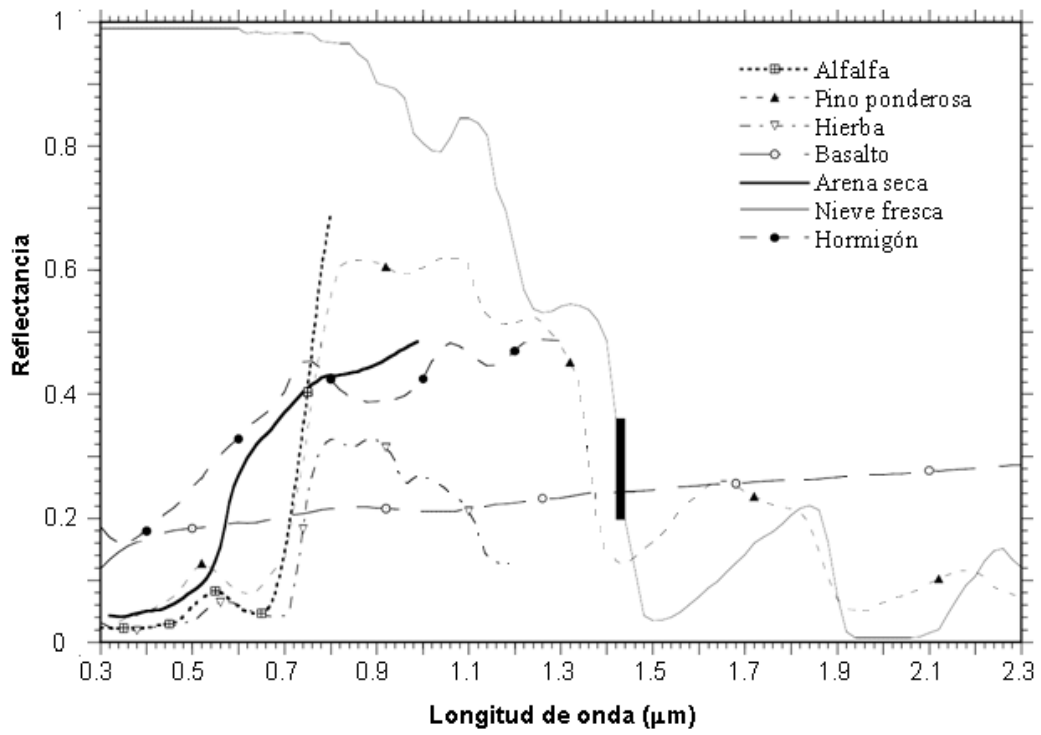


Figura 3.7.3.1. Reflectancia espectral de varios materiales de suelo [12].

4 CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL PARA DIFERENTES EMPLAZAMIENTOS

Para este estudio se han tomado localizaciones en diferentes climas y, pese a que tanto la posición del Sol como las concentraciones de los diferentes componentes atmosféricos varían con el tiempo, es posible identificar aquellos más relevantes para tomar medidas y relacionar la inclinación de los rayos con la latitud del lugar escogido.

Primero se analizará de forma conclusiva y según el estudio bibliográfico el efecto de los componentes de la atmósfera estudiados en el capítulo 3, definiendo su rango de actuación respecto a las longitudes de onda y las transmitancias típicas que muestran.

Para analizar el comportamiento del espectro se han tomado como emplazamientos Padang, Alice Springs y Pekín, los cuales muestran atmósferas diferentes y pueden ser representativos del clima tropical, desértico o árido y continental respectivamente [39].

Los tres emplazamientos vienen señalados en la figura 4.1, donde puede verse la diferencia de radiación global que llega a cada zona del planeta, siendo el desierto de Alice Springs uno de los puntos con mayor radiación, en especial si se compara con Pekín.

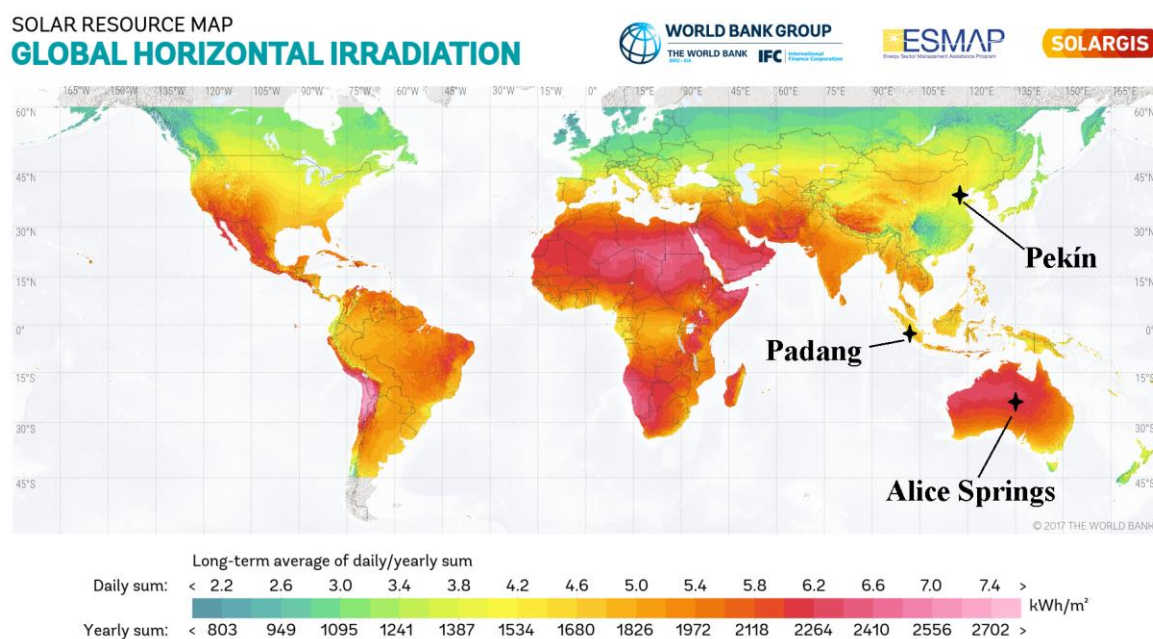


Figura 4.1. Mapa mundial de radiación global con los tres emplazamientos del proyecto [40].

4.1 Modelos atmosféricos y su actuación espectral

La atenuación de la radiación directa por parte de los componentes atmosféricos se representa con la transmitancia, la cual depende generalmente de dos parámetros característicos (ecuación 3.3), la masa y el espesor óptico.

Masa de aire:

Este parámetro depende de la inclinación del rayo de luz y por tanto de la trayectoria solar respecto al

emplazamiento, por lo que es un parámetro que varía cíclicamente. Se puede estimar un valor medio típico, a partir del cual definir un ángulo de cenit característico y los valores de las masas ópticas de los componentes atmosféricos (ecuaciones 3.1.2 y 3.1.3).

La masa de aire (AM) no influye directamente sobre una región del espectro, sino que potencia en mayor o menor medida el efecto de ciertos componentes. Si se observan los coeficientes de la tabla 3.1 y los valores máximos de masa óptica ($Z=90^\circ$) es posible establecer un orden de influencia de AM respecto a los elementos que aparecen en la tabla, al igual que se demuestra en la figura 3.1.3:

- El vapor de agua (PW) y los aerosoles se ven altamente incrementada su masa óptica al aumentar el valor de AM, por lo que ganan importancia en regiones alejadas del ecuador donde AM medio es mayor.
- La mezcla uniforme de gases y la dispersión de Rayleigh son dos factores que varían razonablemente con AM, aunque sus masas ópticas más elevadas sólo son la mitad de las del PW y los aerosoles.
- Por último, los dos componentes que menos varían con AM son el dióxido de nitrógeno y el ozono, con valores cercanos a una cuarta parte de los estimados para PW y aerosoles.

Hay que tener en cuenta en esta estimación que las proporciones en las que se ha comentado que varía la masa óptica de un componente respecto a otro no son constantes, esto se debe a que la función para el cálculo de dicha masa (Ec. 3.1.3) es de tipo exponencial.

Dispersión de Rayleigh

Esta dispersión de la radiación actúa generalmente en longitudes de onda corta al tratarse de dispersión molecular, y depende tanto de AM como de la altitud del emplazamiento o de la presión atmosférica (ver Ec. 3.1.2.1). Observando la figura 3.1.2.3 se define la región de actuación entre 0 y 400 nm como la más característica por su bajísima transmitancia, muy cercana a cero y por debajo de 0,5 para la atmósfera estándar en los 400 nm. En la zona de entre 400 y 600 nm este fenómeno tiene menor importancia hasta llegar a desaparecer.

Vapor de agua (PW):

Las bandas de absorción del vapor de agua son muy específicas para ciertas longitudes de onda y están estrictamente definidas en la tabla 3.2.1. Podemos identificar dos picos en 720 nm (banda α) y 810-820 nm ($0,8\mu$) los cuales deben a una transmitancia de cerca de 0,7 del vapor de agua.

Sin embargo, los puntos de absorción más importantes se encuentran en las bandas $\rho\sigma\tau$ y ϕ , con picos en 935 y 1130 nm de transmitancias de 0,2 y 0,1 respectivamente.

Estas transmitancias se han estimado para la atmósfera estándar según la figura 3.2.2, sin embargo varían según la humedad característica de cada clima y otros factores.

Absorción de mezcla de gases uniforme (CH_4 , CO , CO_2 , N_2 , N_2O y O_2)

Esta absorción tiene dos picos característicos del O_2 en 690 nm y 760, con transmitancias cercanas a 0,7 y 0,15 (ver figura 3.3.1).

Por encima de 1000 nm, dentro de la región del espectro infrarrojo, existe un pico del oxígeno en 1270 nm (con transmitancia de 0,55 aproximadamente) pero predomina la absorción del CO_2 , con picos en 1436 nm, en el intervalo de 1580-1680 nm y una actuación de mayor intensidad a partir de 1960 nm.

Trazas de gases (NO , NO_2 , NO_2 y O_3)

Su grado de atenuación depende en gran medida de la contaminación que haya en la atmósfera.

El dióxido de nitrógeno actúa en la zona alrededor de los 400 nm (350-450nm), llegando a perjudicar el espectro visible para emplazamientos muy contaminados.

En el caso del ozono se encarga de absorber la radiación UV por debajo de los 300 nm, con una transmitancia de cero prácticamente, después aumenta a 1 rápidamente. Para zonas contaminadas actúa entre los 550 y 650 nm,

siendo prácticamente despreciable el efecto si la concentración de O₃ es baja. Para 0,3 atm-cm de ozono, su transmitancia en esta región espectral ronda los 0,95.

Aerosoles (Mie):

Es muy difícil establecer un rango de actuación de los aerosoles ya que depende mucho del grado de turbidez de la atmósfera, al igual que es fundamental el tamaño de las partículas y la humedad a partir del 70%. Sí es importante sin embargo su impacto es la radiación difusa, que es fundamental entre 400 y 700 al afectar en el espectro visible.

Las partículas más pequeñas, como las de origen rural o urbano, tienden a bloquear en mayor grado las longitudes de onda más corta. Por lo que su espesor óptico crece cuando nos acercamos a la parte ultravioleta del espectro. Sin embargo, las partículas grandes como las marinas o de polvo mantienen un AOD poco variable, como es posible comprobar en la figura 3.5.2.

Nubes:

Las nubes tienen un rango de actuación sobre el espectro que se centra en la zona azul (450-490 nm). Su efecto es, a no ser que exista una elevada concentración de aerosoles, de aplanamiento del espectro reduciendo así el pico espectral azul. Si hubiese dicha elevada concentración de aerosoles esta región del espectro azul se podría ver intensificada, aunque este caso aún requiere de una mayor investigación.

La siguiente tabla 4.1.1 muestra el efecto que tiene cada componente atmosférico respecto a las diferentes regiones del espectro solar de manera informativa para así tener una mayor concreción de la importancia de los componentes para definir el espectro.

	0.1-200 (UV lejano)	200-300 (UV cercano)	300-400 (UV cercano)	400-490 (violeta y azul)	490-600 (verde y amarillo)	600-700 (naranja, rojo)	700-1000 (IR)	1000-1500 (IR)	1500-2000 (IR)
Rayleigh	-	Muy alto ¹	Alto	Medio	Bajo	Bajo o muy bajo	-	-	-
Vapor de agua	-	-	-	-	Muy bajo en 540	-	Bajo en 720, 820 Alto en 935	Muy alto en 1120-1145 y 1350-1450	Muy alto en 1800-1960
O₂	-	-	-	-	-	Bajo en 690	Muy alto o alto en 760	Medio o bajo en 1270	-
CO₂	-	-	-	-	-	-	-	Bajo en 1436	Muy bajo en 1580-1680 Muy alto o alto en 1960

NO₂	-	-	Muy bajo o bajo ₂	Muy bajo o bajo ₂	-	-	-	-	-
O₃	Muy alto	Muy alto	En 350 puede ser muy bajo	-	Muy bajo en 540-600 ₂	Muy bajo en 600-660 ₂	-	-	-
Aerosoles₃	-	De muy alto a medio ₁	De muy alto a medio	De alto a bajo	De alto a muy bajo	De medio a muy bajo	De medio a muy bajo	De medio a muy bajo	De bajo a muy bajo
Nubes	-	-	-	Afecta ₄	-	-	-	-	-

Tabla 4.1.1. Efecto de los componentes atmosféricos en cada una de las regiones del espectro.

1: Realmente la radiación previa a 300 nm es absorbida por el ozono, por lo que la dispersión de Rayleigh y Mie prácticamente no participa.

2: Sólo en caso de zonas con alto nivel de contaminación (grandes ciudades).

3: La transmitancia de los aerosoles varía mucho respecto al tipo de aerosol y por tanto su tamaño, afectando los aerosoles de menor diámetro en mayor medida a longitudes menores.

4: Ver apartado de nubes.

4.2 PADANG, INDONESIA

El primer emplazamiento se trata de Padang, ciudad capital de Sumatra Occidental, región de Indonesia. Su latitud es de 0,95° S y 100,35° E, por lo que se encuentra muy cerca de la línea de ecuador. También tiene una latitud de 6 metros, por lo que se encuentra casi al nivel del mar [39].

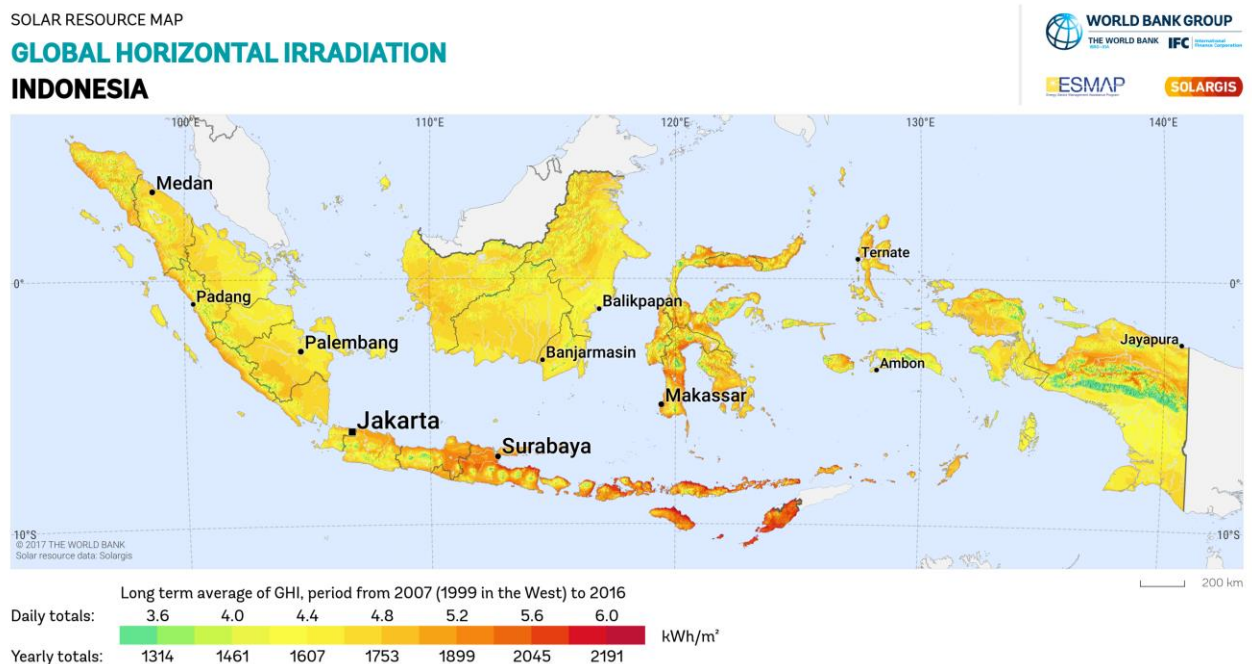


Figura 4.2.1 Radiación Global Horizontal de Indonesia [40].

Su radiación global horizontal tiene un valor de 5,041 kWh/m² al día, con una componente directa normal de 3,312 kWh/m² y una difusa de 2,436 kWh/m². La radiación recibida por esta zona y su clima nos lleva a la

conclusión de cuáles son sus parámetros característicos que afectan al espectro.

Lo primero es que al hallarse tan cercano de la latitud cero la variación en la trayectoria del sol es prácticamente nula a lo largo de las estaciones, lo que implica una duración del día constante y una masa de aire absoluta (AAM) o simplemente AM que se acerca al valor unitario en gran parte de las horas de luz solar (figura 4.2.2). Los emplazamientos más cercanos al ecuador verán el Sol con menor ángulo de inclinación, tendrán una mayor radiación directa y los componentes atmosféricos se verán afectados con una masa óptica reducida. Ello a su vez implica una transmitancia mayor según la ecuación 3.3, por lo que los componentes tendrán menos influencia en el espectro, es decir, los rayos solares cruzaran la atmósfera sin ser afectados en gran medida.

Padang se encuentra a nivel del mar, si estuviera a una mayor altitud tendría incluso una menor AM.

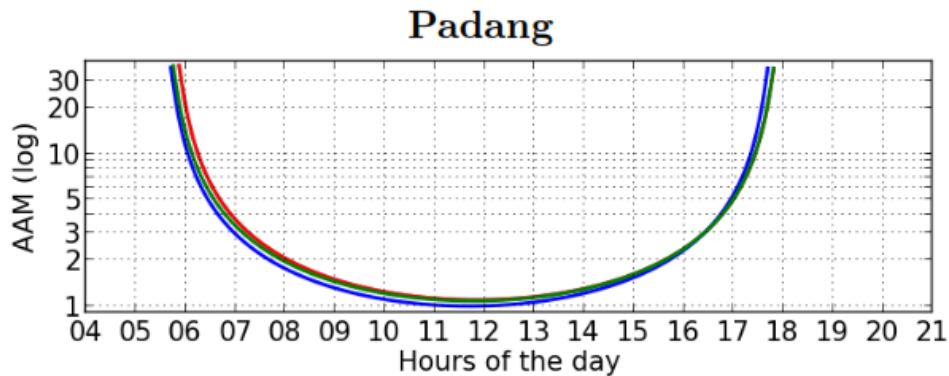


Figura 4.2.2. Masa de aire a lo largo del día para equinoccios y solsticios [15].

En Padang hay 12 horas de sol al día, de las que 8 de ellas (entre las 8 y las 14h) tienen una AM entre 1 y 2, de hecho, como se puede comprobar en la figura 4.2.3, la cantidad de minutos que transcurre en AM1 es el mayor, siendo AM menor que 1.5 (valor de la atmósfera estándar) el 51,1% del tiempo [15]. Ello podría implicar que su espectro solar sea de mayor intensidad de energía que el estándar y tendría por tanto una atmósfera más favorable en este aspecto, sin embargo existen otros parámetros a tener en cuenta.

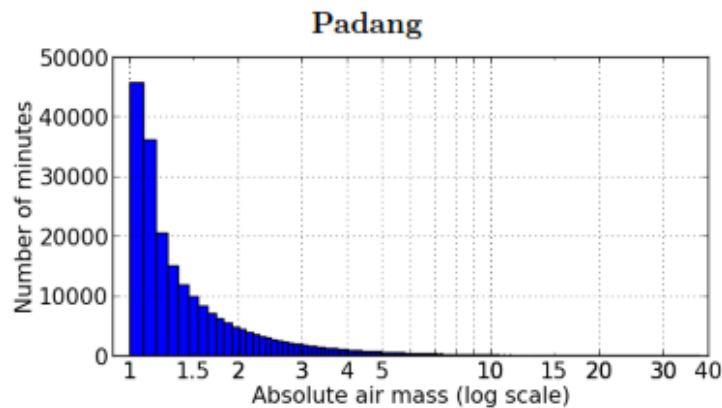


Figura 4.2.3. Distribución temporal de la masa de aire en Padang [15].

Su clima es tropical húmedo, el cual puede ser asociado al modelo atmosférico propuesto por el programa SMARTS2 en la tabla 1.3.1, de la que se ha sintetizado la información en la tabla 4.2.1.

Modelo SMARTS2:

$T_a(K)$	$T_{eo}(K)$	p(mb)	RH(%)	$O_2(km)$	$CO_2(km)$	$H_2O(cm)$	$O_3(atm-cm)$	$NO_2(atm-cm)$
299.7	229.7	1013.0	74.9	4.9313	4.9539	4.117	0.2773	2.11E-4

Tabla 4.2.1. Modelo atmosférico de referencia para clima tropical [12].

El modelo de clima tropical se caracteriza por una elevada temperatura, lo que permite a su vez que el ambiente no se sature fácilmente con vapor de agua y por tanto tiene valores de humedad altos, tanto relativa como absoluta. El nivel de ozono es el más bajo entre los modelos propuestos, esto se debe a que la zona de los trópicos se encuentra cercana al ecuador. Por otro lado, cabe destacar que el NO_2 propuesto no es bajo, aunque

depende mucho de si existen fuentes de contaminación del aire en la zona, por lo que es un parámetro que puede variar con facilidad. La concentración de CO_2 es de las más altas entre los modelos, sin embargo este factor puede depender al igual que el NO_2 de la actividad humana y como se comentó en el apartado relativo a la mezcla de gases uniforme no afecta al espectro estudiado en las longitudes de onda por debajo de 1200 nm, sino en aquellas más largas.

Debido al clima de Padang la concentración de vapor de agua en la atmósfera será el parámetro más destacable en dicha región, el cual está por encima del de referencia de la tabla 4.1.1. Esto es fácilmente identificable en la figura 3.2.4, la cual señala la zona ecuatorial como una franja de elevada PW y por lo tanto humedad.

En Padang este hecho se ve reflejado en el estudio estadístico de la cantidad de vapor de agua en función de los días del número de días que se alcanza cada valor. El valor medio de PW es de 4.77 atm-cm.

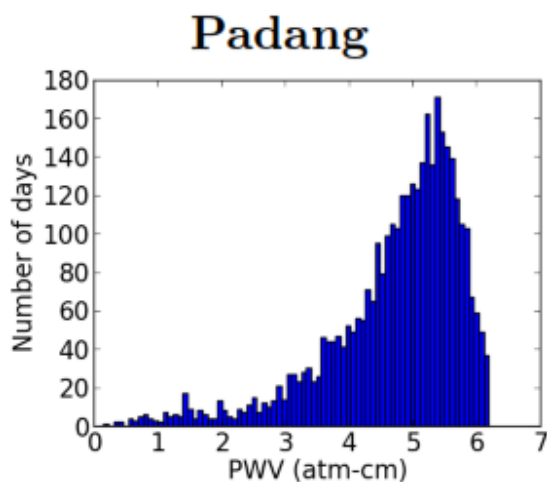


Figura 4.2.4. Distribución estadística de vapor de agua [15].

El vapor de agua tiene unas bandas de absorción muy específicas, por lo que el espectro se verá afectado en las regiones que indica la tabla 3.2.1, en concreto y con especial intensidad en 935, 1130 y 1395 nm.

Además, una alta humedad afectará al tamaño de los aerosoles y alterará en mayor medida de los factores que definen el AOD, por lo que es un parámetro importante a tener en cuenta en los modelos.

La ciudad de Padang tiene una población de cerca de 870.000 habitantes, la mayor ciudad de la región, lo que implica una contaminación mayor que en el resto de Sumatra Occidental, lo que se verá reflejado en valores de NO_2 notables, en este estudio hemos tomado los de referencia en la tabla 4.2.1. Los aerosoles más comunes podrían ser de origen marino, pero, como se ve en la figura 3.5.6, tiene un mayor AOD en dicha región los originados por la quema de carbón y las partículas orgánicas, por lo que el aerosol que se tomará como característico para implementar los modelos atmosféricos es el de tipo rural los cuales son de diámetros menores que los marinos y por tanto actúan en longitudes de onda corta con mayor intensidad.

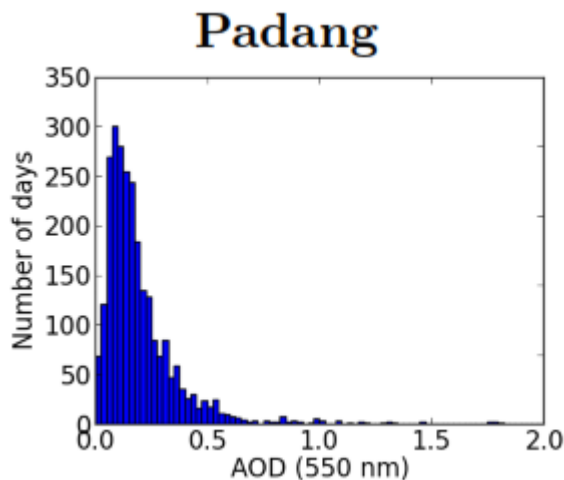


Figura 4.2.5. Distribución estadística del espesor óptico de aerosoles [15].

La AOD para 550 nm media en Padang es de 0.2.

Existen otra serie de parámetros que pueden definir el espectro aunque sea en menor medida; tenemos el caso de la concentración de ozono atmosférico.

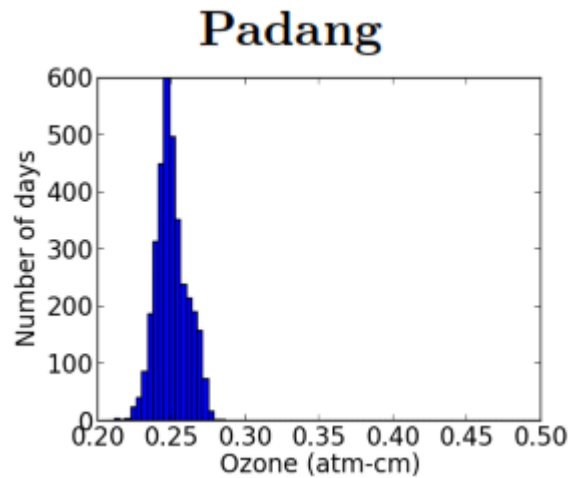


Figura 4.2.6. Distribución estadística del ozono atmosférico [15].

La concentración media de ozono es de 0,25 atm-cm, con una variación escasa a lo largo del año. El ozono es el encargado de bloquear la radiación ultravioleta por lo que actúa por debajo de los 0,29 μm , aunque también tendrá cierta absorción en la zona de 0,6 μm . Como se ve en la figura 3.4.1.4 la concentración en la zona cercana al ecuador es pequeña por lo que el efecto del ozono no será determinante para el espectro.

Por último, sería necesario realizar un estudio de la nubosidad en Padang, ya que al tratarse de un clima tan húmedo es muy posible que tengan una importante repercusión en la radiación, en especial en las épocas de lluvia como octubre y noviembre [41].

4.3 ALICE SPRINGS, AUSTRALIA

Alice Springs es una zona del Territorio Norte de Australia, situada en la zona central del país. Comprende el desierto y una ciudad de muy pequeña población, de unos 25 mil habitantes. La situación geográfica de Alice Springs es de $-23,7^\circ$ sur y $133,88^\circ$ este, con una altitud de entorno a 576m, mucho más elevada que Padang o Pekín.

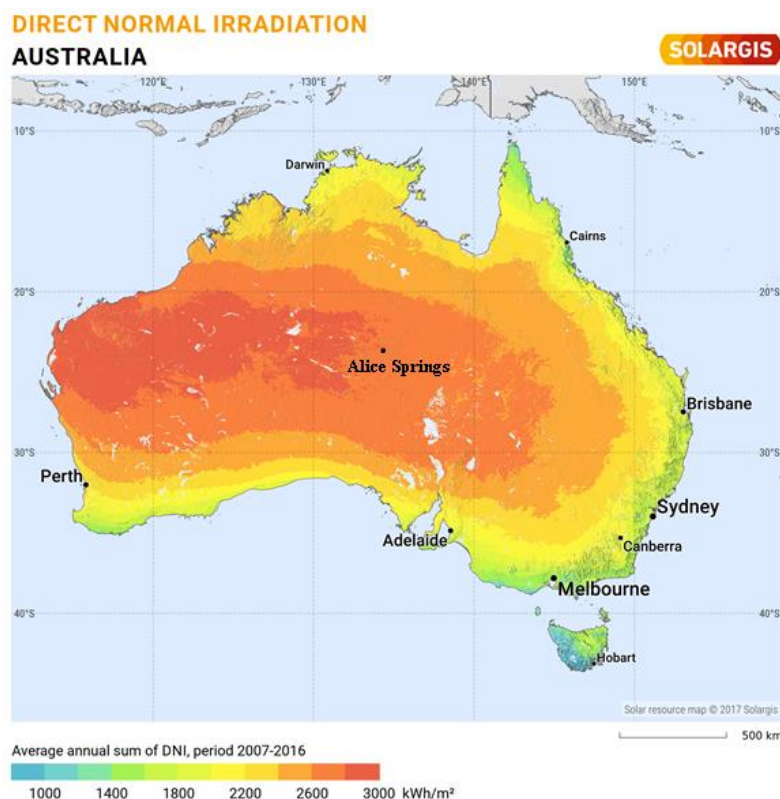


Figura 4.3.1 Radiación Directa Normal de Australia [40].

La radiación global media horizontal en esta ciudad es de 6,145 kWh/m² al día, con un valor de radiación directa muy alto, de 7,652 kWh/m² y de difusa de 1,34 kWh/m².

Por su latitud Alice Springs se encuentra fuera de los trópicos por menos de medio grado, casi a la altura del Trópico de Capricornio. Ello conlleva a que la trayectoria del sol a lo largo del año no varíe demasiado, aunque sí más que la vista en Padang.

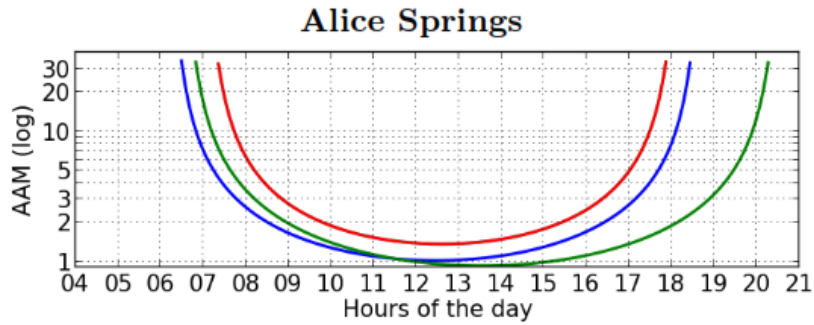


Figura 4.3.2. Masa de aire a lo largo del día para equinoccios y solsticios [15].

La figura 4.2.1 muestra la AM en función de las horas del día para diferentes épocas del año, siendo la línea verde y la roja los solsticios de verano e invierno respectivamente y la azul el equinoccio. Se puede comprobar como en la época de invierno los rayos sufren mayor atenuación atmosférica ya que la masa de aire que deben cruzar es mayor, pese a ello no es excesivamente alta, dato que se comprende al ver que la diferencia de horas de luz entre los dos solsticios es de 2,5 horas aproximadamente.

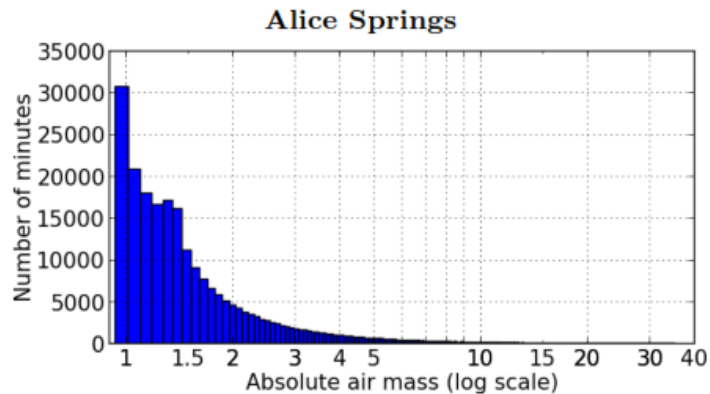


Figura 4.3.3. Distribución temporal de la masa de aire en Alice Springs [15].

Su AM no es elevada gracias a la altitud de este emplazamiento, por lo que su AM medio se ha estimado con un valor de 1.8. Este hecho favorece a la radiación, la cual se ve afectada en menor medida que si se hallara a nivel del mar, ya que además implica un aire más limpio y de menor turbidez por la baja cantidad de aerosoles.

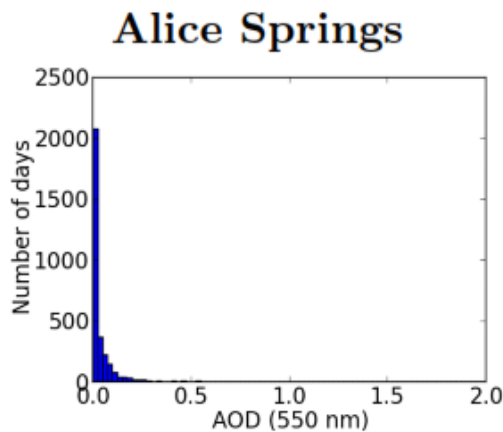


Figura 4.3.4. Distribución estadística del espesor óptico de aerosoles [15].

La limpieza de su atmósfera es posible que sea uno de los parámetros más característicos de la misma. La concentración de aerosoles baja es representada con un AOD medio para 550 nm de 0,05, lo cual implica un efecto escaso de Mie. El único tipo de aerosol que se considera es el de polvo, originado por el desierto propiamente. Los coeficientes α tomados para modelar este efecto son aquellos representativos del aerosol marino, que, como se justifica en la figura 3.5.5, tiene unos diámetros muy similares a los del polvo, ambos aerosoles de gran grosor.

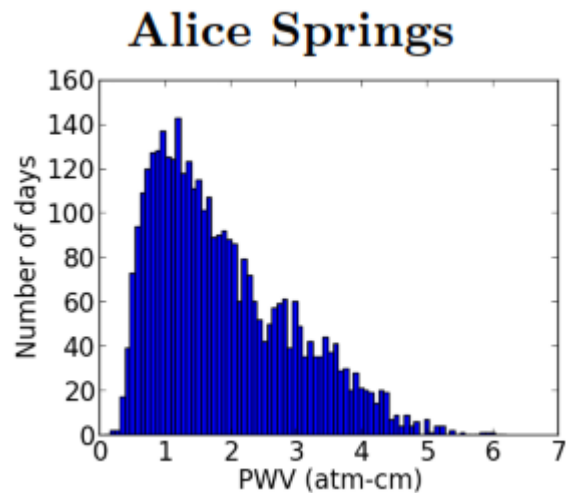


Figura 4.3.5. Distribución estadística de vapor de agua [15].

El vapor de agua presenta unos valores altos para ser un clima desértico, esto se puede deber en parte a que las temperaturas de la zona pueden asimilar mayor nivel de humedad sin que la atmósfera se sature (ver figura 3.2.6). La PW media es de 1,89 atm-cm. La humedad relativa media es 39% [41], más baja que los otros emplazamientos, sin embargo pese a ser un clima seco, por sus precipitaciones y su temperatura media (20,8°C) no es una zona de desierto extrema.

Para este clima es menos relevante la nubosidad, a diferencia de otros como el tropical.

Respecto al nivel de ozono, lo muestra la figura 4.3.6, indicando unas concentraciones similares a las de Padang, un poco más elevadas. La media del ozono es de 0,26, lo cual sigue siendo una característica común en áreas limpias pese a no estar en la zona del ecuador propiamente.

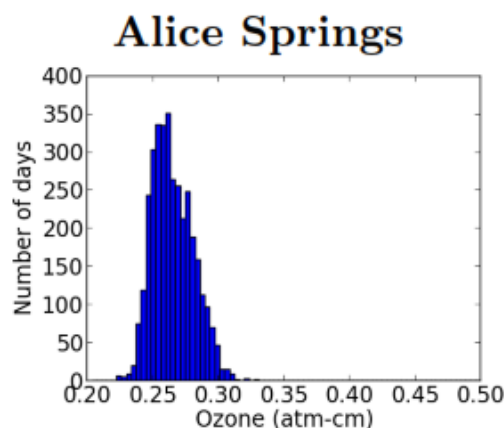


Figura 4.3.6. Distribución estadística del ozono atmosférico [15].

El NO₂ por otro lado, no se tendrá en cuenta como un factor determinante en este modelo, la escasa actividad humana en la zona así lo permite. El valor de referencia será de 0,00015 atm-cm, prácticamente tendrá efecto nulo sobre el espectro.

4.4 PEKÍN, CHINA

El tercer y último emplazamiento es la ciudad de Pekín, capital de China. Pekín se encuentra a 39,9°norte y 116,4° este, a una altitud baja, de 50 metros aproximadamente. La población de Pekín la hace una de las ciudades más pobladas (y contaminadas) del planeta, con cerca de 21,7 millones de habitantes.

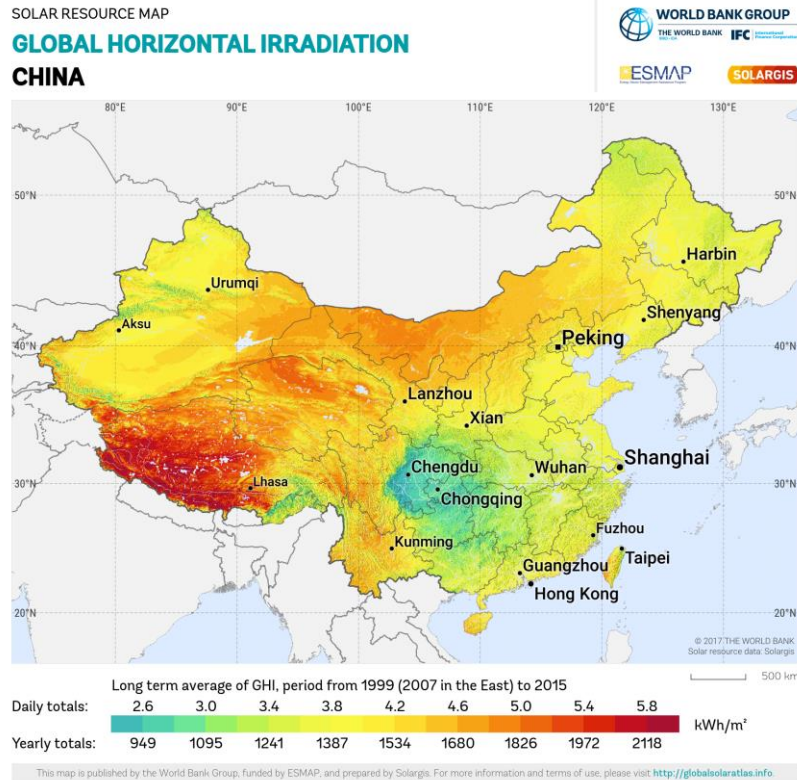


Figura 4.4.1. Radiación global horizontal en China [40].

La radiación en Pekín tiene unos valores promedio de 3,814 kWh/m² al día respecto a global horizontal, los valores de directa normal y difusa son 3,132 y 1,995 kWh/m² respectivamente.

La localización de esta ciudad, lejana de la línea de ecuador, tiene unos valores de AM (ver figura 4.4.2) que varían notablemente entre el solsticio de verano (línea roja) y el de invierno (línea verde). Ello hace que la diferencia entre las masas ópticas de los diferentes componentes sea destacable entre la época de verano y de invierno, además de que las horas de sol aumentan, siendo 6h la máxima diferencia.

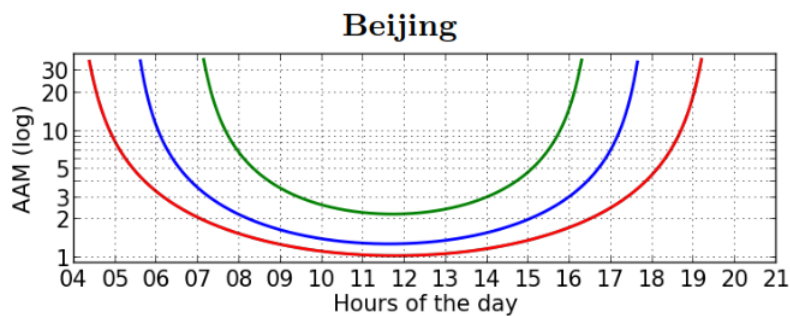


Figura 4.4.2. Masa de aire a lo largo del día para equinoccios y solsticios [15].

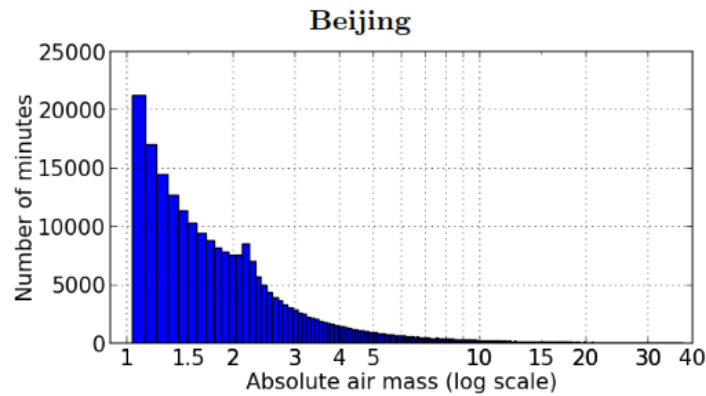


Figura 4.4.3. Distribución temporal de la masa de aire en Alice Springs [15].

Como es de prever, la masa de aire media será mayor que en los otros dos emplazamientos, siendo la medida estimada de 2.38. Su elevación no es suficientemente alta como para suponer una reducción del AM respecto al nivel del mar apreciable.

Las precipitaciones en Pekín se concentran durante los meses de verano, entre julio y agosto, siendo esta época extremadamente húmeda, la cual aumenta tanto la relativa como la absoluta (además de haber una mayor temperatura). En comparativa, los meses de invierno son más secos.

La cantidad de vapor de agua en atmósfera media es de 1,72 cm-atm

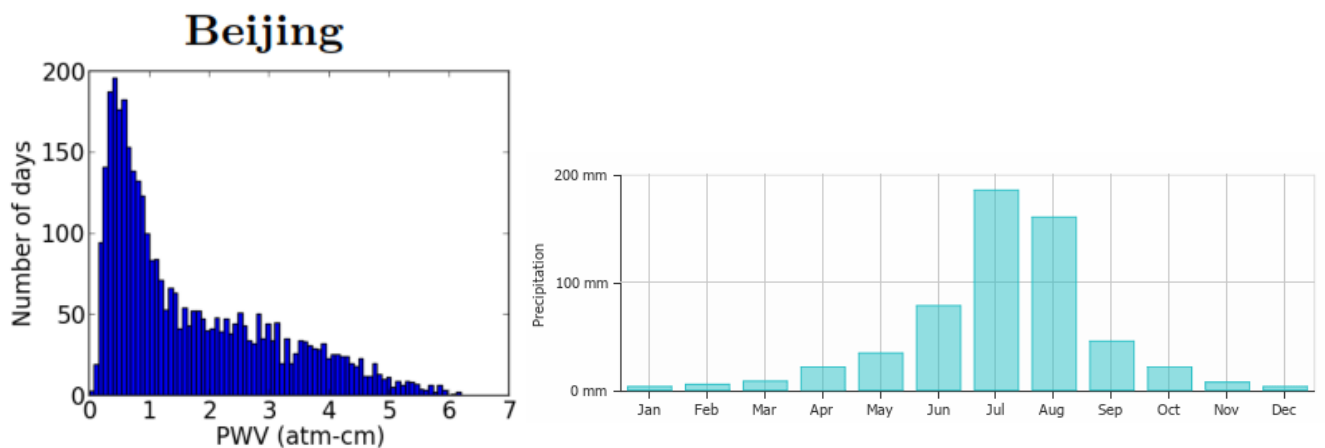


Figura 4.4.4. Vapor de agua atmosférico (izquierda) [15] y precipitaciones mensuales (derecha) [41].

Será conveniente si se desea realizar un estudio detallado del espectro en verano tener en cuenta el incremento que sufrirá el PW en los meses más húmedos, además de una aparición más importante de nubosidad.

Sin embargo el parámetro más característico de la ciudad, y la razón por la que ha sido escogida como emplazamiento a analizar, es la gran contaminación que sufre. Esta ciudad, uno de los ejemplos de lugares más contaminados del planeta y de peor calidad del aire, tiene muy altos niveles de dióxido de nitrógeno y de carbono, de aerosoles y además de una mayor cantidad de ozono respecto a los otros emplazamientos.

Los aerosoles en la atmósfera de Pekín es su principal fuente de extinción de la energía solar incidente. Esto se debe a que influyen tanto varias corrientes de aire que traen diferentes tipos de aerosoles hasta la ciudad como su elevadísimo nivel de contaminación, siendo una de las ciudades con mayor polución del planeta.

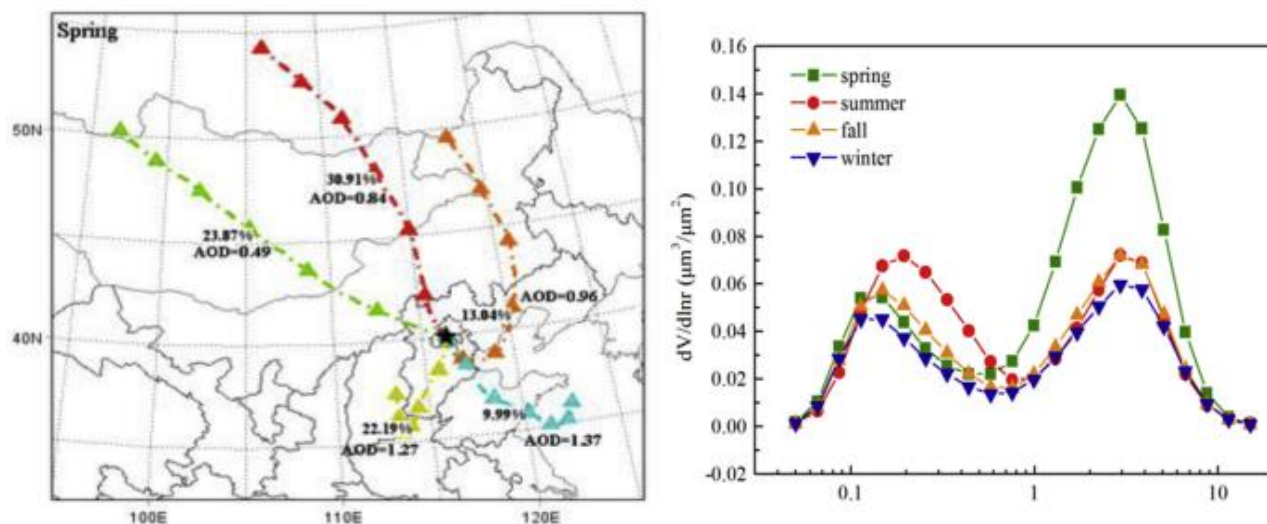


Figura 4.4.5. Movimiento de los aerosoles en primavera (izquierda) y tamaños y concentración de las partículas de aerosoles según la estación (derecha) [42].

El aerosol considerado en este trabajo es de tipo urbano porque predomina en el ambiente de una gran ciudad como es Pekín, aunque para ser más precisos se deberían estimar el efecto de otros tipos de aerosoles, como se puede ver en la figura 4.4.5. Esta figura muestra la trayectoria de aerosoles que llegan a la ciudad y su AOD para 500 nm, los cuales son mayores cuando vienen del sur o sureste debido a las grandes ciudades industrializadas de dicha zona. El aumento tan destacable del tamaño de los aerosoles en primavera puede deberse a el incremento en la cantidad de aerosol de tipo polvo que llega desde el noroeste, directamente del desierto del Gobi en Mongolia.

La media anual del AOD en 440 nm entre los años 2001 y 2015 es de 0,71 (y la mitad para las zonas del extrarradio), sin embargo este valor no es del todo representativo del momento actual, ya que entre los años 2011 y 2007 el AOD era de 1,06, lo cual indica una contaminación del aire elevadísima. A lo largo de los años gracias a un riguroso control de las emisiones se logró una atmósfera con un AOD de 0,62 medio entre los años 2008 y 2015, por lo que este será el valor que se estimará como actual para estudiar el espectro, teniendo en cuenta que es muy posible que se haya visto reducido [43].

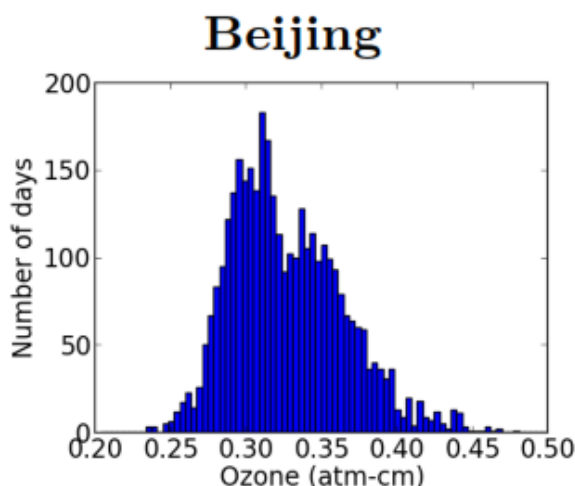


Figura 4.4.6. Distribución estadística del ozono atmosférico [15].

El nivel de ozono medio en Pekín es de 0,33, el cual no llega a ser un nivel muy alto en comparación con las atmósferas de referencia propuestas por SMARTS2, pero sí tendrá cierto efecto a la hora calcular el espectro en la ciudad.

Por último queda destacar el nivel de NO_2 , estimado en 0,01 atm-cm, lo cual es alto y representa una atmósfera contaminada y de alta actividad humana.

4.5 APLICACIÓN DE LOS MODELOS ATMOSFÉRICOS

La aplicación de los modelos atmosféricos se ha llevado a cabo, como muchos de los modelos proponen, para un cielo despejado y sin nubosidad. Esto se debe a la falta de información sobre la misma para cada uno de los emplazamientos, además de la complejidad que tendría aplicar un modelo fiable y que es un campo de investigación que sigue avanzando hoy en día.

El alcance de este proyecto no considera la aplicación de los modelos para el cálculo del espectro de radiación difusa. Sin embargo, tras un estudio del albedo de los diferentes emplazamientos para aplicar la ecuación relativa a la reflectividad suelo-cielo y de aquellos otros necesarios, sería posible estimar la actuación de la radiación difusa gracias a que esta depende directamente de las transmitancias de los diferentes componentes atmosféricos ya analizados para la radiación directa.

Las longitudes de onda tomadas para este estudio se sitúan entre los 280 y 4000 nm, como viene expresado el espectro solar estándar AM1.5, sin embargo la representación de las transmitancias y espectros no llega hasta los 4000 nm debido a que esta es una longitud demasiado larga donde ya el espectro es mínimo en comparación con la región visible y no tiene gran interés para aplicaciones tecnológicas.

Los parámetros que caracterizan las atmósferas de los tres emplazamientos vienen reflejados en la siguiente tabla:

	T (°C)	P (Pa)	HR (%)	AM	Z (°)	PW (atm-cm)	NO₂ (atm-cm)	O₃ (atm-cm)	AOD	Aerosol
Padang	25,3	101192	77	1.47	47,203	4,77	2.11E-4	0,25	0,2 (550nm)	Rural
Alice Springs	20,8	94792.2	39	1.8	56,335	1,89	1.5E-4	0,26	0,05 (550nm)	Polvo=Marino
Pekín	12,1	100792	57	2.38	65,272	1,72	1E-2	0,33	0,62 (440nm)	Urbano

Tabla 4.5.1. Parámetros atmosféricos de los diferentes emplazamientos analizados [15] [41] [42].

4.5.1 Comparativa de las transmitancias de cada componente según el emplazamiento

AM y masas ópticas:

la diferencia entre las masa ópticas entre los componentes de un mismo emplazamiento sóloes destacable para valores del ángulo cenital muy altos, por lo que no resulta muy influyente en las transmitancias. Sin embargo, las masas sí cambian notablemente para 47, 56 y 65°, lo cual hace que los emplazamientos se distingan por ello en gran medida.

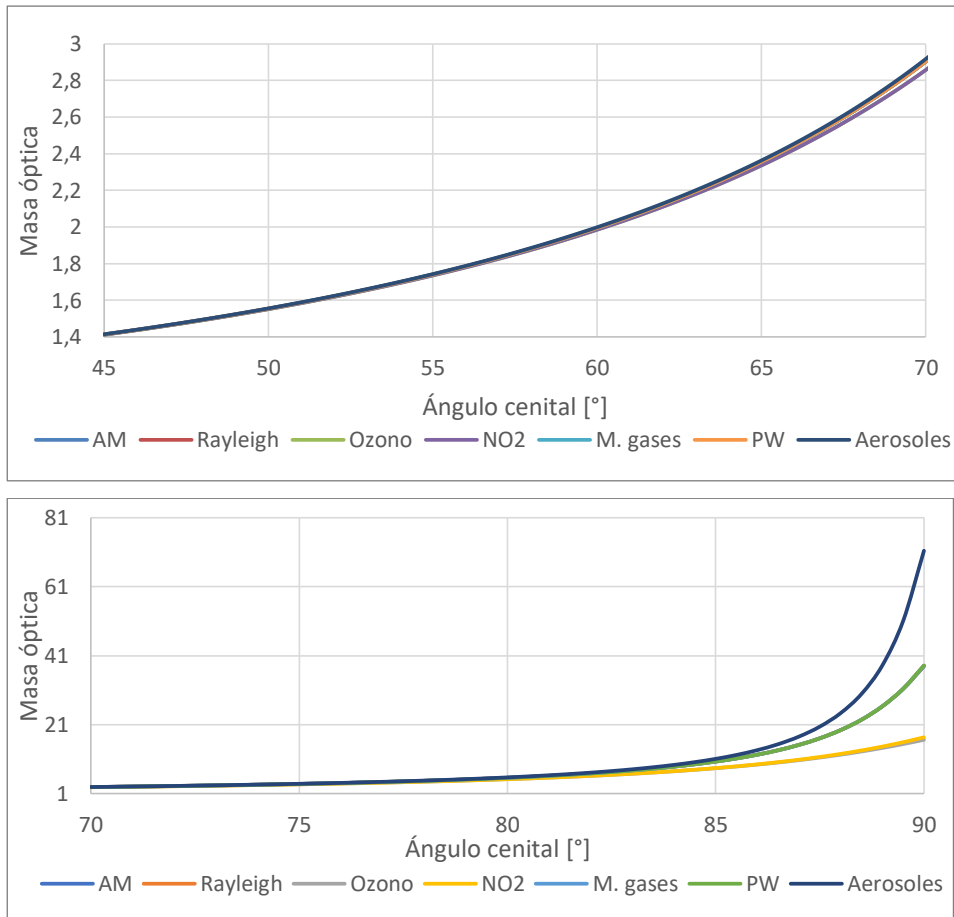


Figura 4.5.1.1. Masas ópticas según el ángulo cenital.

Las masas ópticas dependen únicamente de la situación geográfica del emplazamiento ya que dependiendo de esta los rayos del Sol incidirán con mayor o menor inclinación. Las cercanas más cercanas a la línea de ecuador tienen un ángulo cenital medio menor, es decir, que los rayos alcanzan la superficie con menor inclinación, por lo que la masa óptica más característica de dichos emplazamientos será menor, como es el caso de Padang. La figura 4.5.1.1. muestra que sólo para ángulos de cenit muy elevados, por encima de 85° como se obtienen al atardecer o amanecer, las masas ópticas de los diferentes componentes adquieren valores diferentes, siendo de mayor importancia el vapor de agua o los aerosoles (ver figura 3.1.4).

Efecto de Rayleigh:

No existe gran diferencia respecto al efecto de Rayleigh entre los tres emplazamientos. Este depende de manera fundamental en el AM y la presión por lo que Pekín es el que presenta menor transmitancia debido a su elevado AM. La figura 3.1.2.3 obtenida a partir de los modelos puede ser comparada con la 3.1.2.3, la cual emplea masas de aire aún más diferentes entre sí (AM1.5 y AM5) y muestra con mayor claridad este efecto.

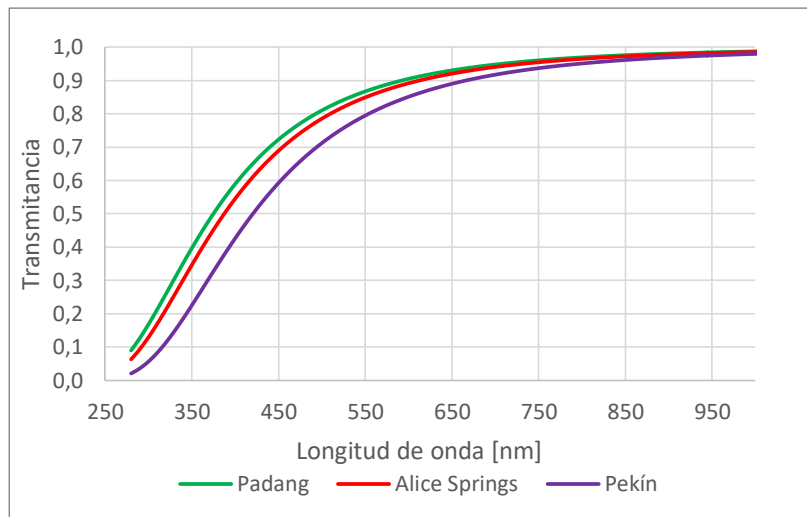


Figura 4.5.1.2. Transmitancia de Rayleigh.

Efecto del vapor de agua:

El vapor de agua tiene transmitancias similares para los tres emplazamientos, sin embargo en el caso de Padang los picos de absorción son mucho más destacables en las bandas de actuación pese a tener una masa óptica menor. Alice Springs, pese a tener un nivel de PW mayor que Pekín, sus transmitancias son mayores debido a su menor AM y a su altitud.

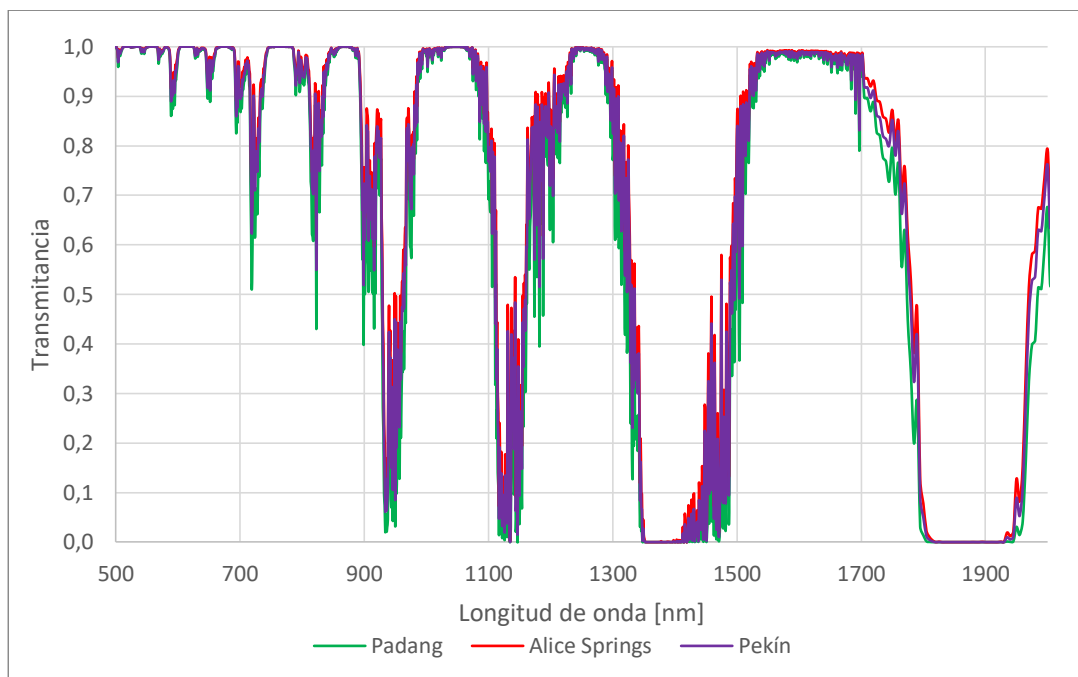


Figura 4.5.1.3. Transmitancia del vapor de agua.

La figura 4.5.1.3 es validable por su similitud con la figura 3.2.2, la cual muestra transmitancias muy similares en las mismas regiones del espectro y demuestra de igual manera que el vapor de agua es un parámetro fundamental a la hora de estimar el espectro por el grave efecto de absorción que tiene sobre este. Su efecto además no varía en gran medida según la cantidad de vapor de agua en atmósfera w , por ejemplo Padang pese a tener más del doble en su atmósfera (4,77 atm.cm) no presenta una absorción mucho mayor que los otros dos emplazamientos.

Efecto del O₂ y CO₂:

Ambos elementos forman parte de la mezcla de gases uniforme por lo que sus concentraciones se deben mantener constante a lo largo de la atmósfera. El CO₂ es un caso especial debido a su crecimiento en emisiones en las últimas décadas, sin embargo su efecto se concentra en longitudes de onda larga (a partir de los 1430 nm). Los picos iniciales, hasta el que se halla en 1270, corresponden a la acción del oxígeno.

La diferencia entre los tres emplazamientos es mínima, sólo se advierte en la zona del dióxido de carbono y la razón principal es la diferencia entre las masas ópticas, por lo que Pekín predomina en este aspecto.

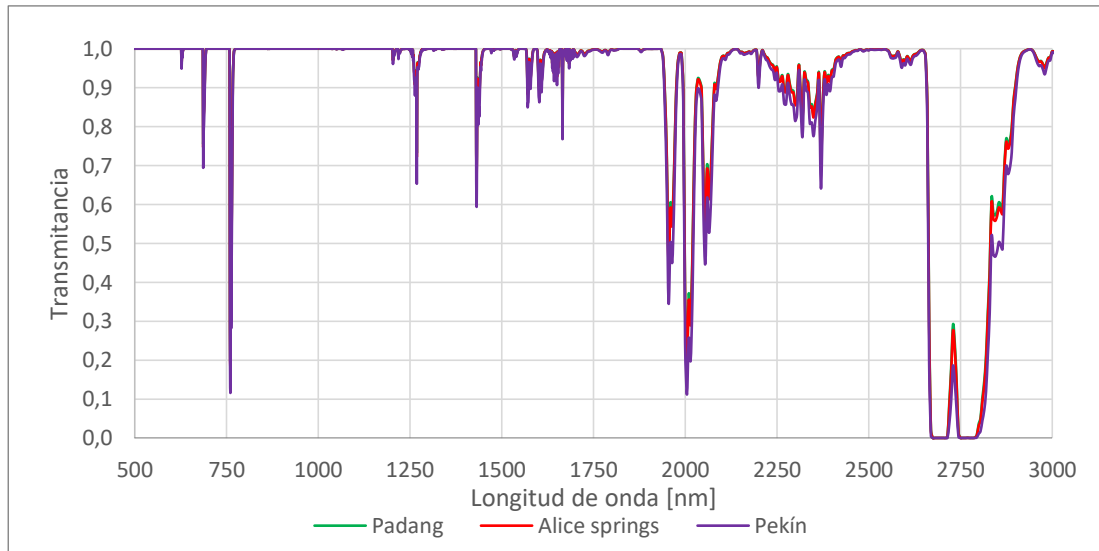


Figura 4.5.1.4. Transmitancia del O₂ y CO₂.

La figura 4.5.1.4 realmente es muy semejante a la 3.3.1, sin embargo esta primera muestra longitudes de onda más largas, por lo que se puede apreciar mejor el efecto del CO₂.

Efecto del dióxido de nitrógeno, NO₂:

Este gas forma parte de los denominados “trazas de gases” y absorbe en la región cercana a los 400 nm, la cual tiene gran importancia ya que se trata de una zona con gran intensidad energética. Sin embargo, sólo tiene efecto destacable en Pekín donde, debido a su alta contaminación, llega a alcanzar transmitancias cercanas a los 0,7 y llegando su efecto hasta los 550-600 nm.

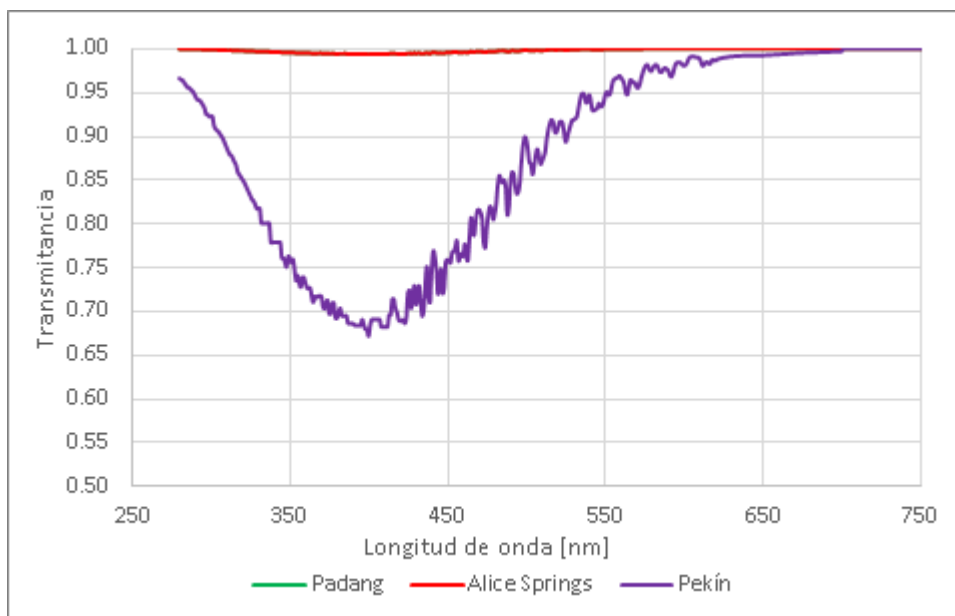


Figura 4.5.1.5. Transmitancia del NO₂.

Efecto del ozono, O₃:

El ozono varía estacionalmente y en menores concentraciones en la zona del ecuador, por lo que es lógico que Padang sea la zona con menor efecto de este en los 600 nm (transmitancia cerca a los 0,95) y Pekín la ciudad más afectada (transmitancia cercana a 0,9), aunque por sus niveles de contaminación podría ser mayor. Sin embargo, la función principal del ozono, bloquear los rayos ultravioleta, es cumplida siempre independientemente del emplazamiento. Podría existir el caso extremo como es el agujero de ozono sobre el ártico, en tal caso la transmitancia no respetaría la gráfica 4.5.1.6.

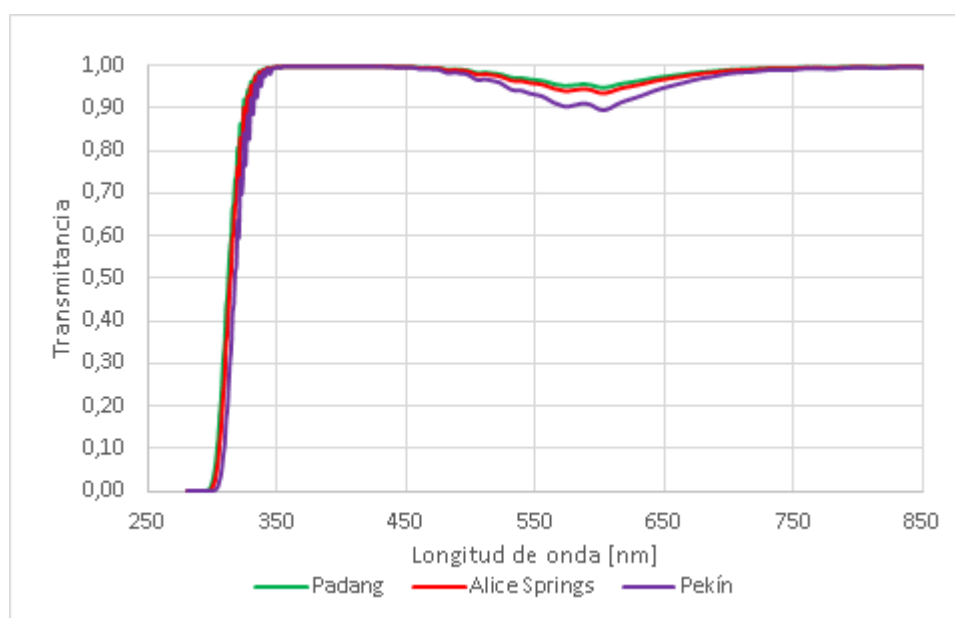


Figura 4.5.1.6. Transmitancia del O₃.

Validación: 3.4.1.5.

Para conformar la acción que realizan las trazas de gases en una atmósfera contaminada, así como se muestra en la figura 3.4.1 o 3.4.1.5, se han superpuesto los efectos del ozono y del dióxido de carbono en la ciudad de Pekín:

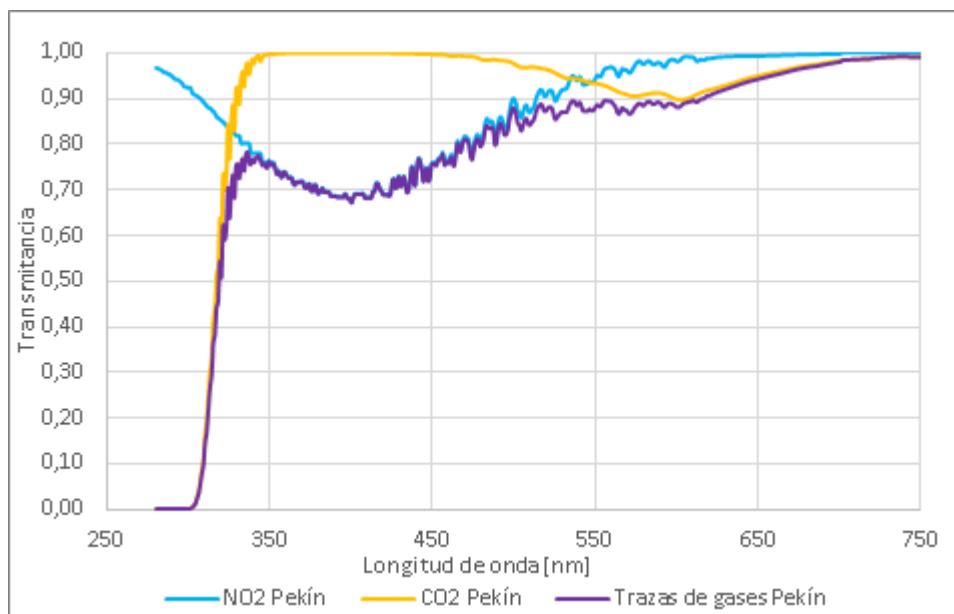


Figura 4.5.1.7. Transmitancia de las trazas de gases en una atmósfera contaminada, Pekín.

Claramente el efecto del ozono es mucho menor ya que alcanza hasta transmitancia igual a 0,9 mientras que el NO_2 tiene valor de 0,7 en los 400 nm. Esta aparición de las trazas de gases debido a las emisiones de la actividad humana tiene serias repercusiones en el espectro, además en una zona donde existen altos niveles de energía como es la región violeta y azul del espectro visible (400-490 nm).

Efecto de los aerosoles (Mie):

El efecto de los aerosoles es quizás el más destacable, ya que actúan en un rango de longitud de onda muy amplio y varía notablemente respecto al emplazamiento. La limpieza atmosférica de los aerosoles en Alice Spring deriva en una transmitancia superior a 0,9, mientras que Pekín sufre en el espectro visible (400-700 nm) un efecto muy importante, el cual se ve reflejado en transmitancias de entre 0,23 y 0,44. En Padang, el pequeño tamaño de sus aerosoles (tipo rural) se comprueba en la mayor curvatura que tiene para longitudes de onda corta. Es interesante la comparativa con la figura 3.5.1, la cual muestra también las transmitancias aerosoles de tipo rural y urbano, los cuales se muestran en la figura 4.5.1.8. para Padang y Pekín respectivamente.

La turbidez en los emplazamientos adquiere valores de 0,0831, 0,0343 y 0,2280 para Padang, Alice Springs y Pekín respectivamente.

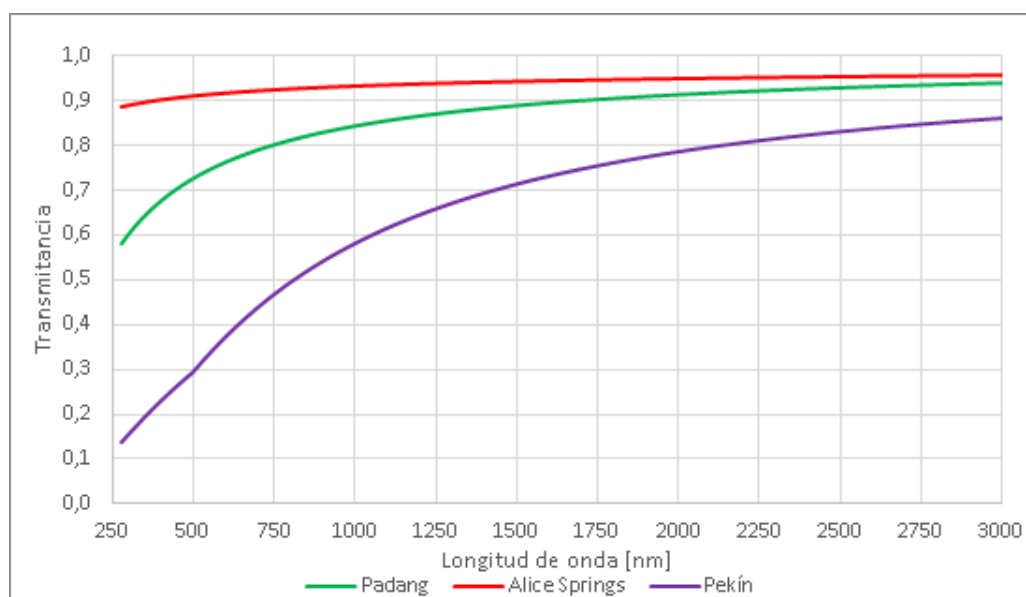


Figura 4.5.1.8. Transmitancia de los diferentes aerosoles.

Para finalizar esta sección, se muestra a continuación las transmitancias totales de los tres emplazamientos, las cuales son el producto de las transmitancias de todos los componentes expuestos anteriormente. Esta transmitancia total puede ser interpretada como un factor similar al rendimiento, ya que es la relación entre la radiación que alcanza la estratosfera, es decir, el espectro ideal proveniente del Sol sin haber sido alterado (AM0), y la radiación real que alcanza la superficie en cada longitud de onda.

La zona tropical destaca por sus bajos valores de AM, lo cual favorece en gran medida que mayor radiación alcance la superficie terrestre, sin embargo se ha de tener en cuenta en especial el vapor de agua y los aerosoles. Estos últimos pueden ser de tipo marino en muchas regiones tropicales, sin embargo también existe la tendencia en estas zonas a la quema de biomasa por la abundancia de este recurso, conduciendo así a la generación de aerosoles de tipo rural como el que se ha implementado en el caso de Padang.

La zona de clima desértica tiene una atmósfera que favorece el paso de los rayos hasta la superficie debido a su bajo nivel de aerosoles y prácticamente nulo de contaminación, la elevada altitud en el caso de Alice Springs que le otorga menores valores de masas ópticas y la escasez de parámetros que atenúen de forma destacable el espectro (a excepción del vapor de agua o los picos del O_2 y CO_2 que no varían en gran medida respecto a la localización).

Pekín es el emplazamiento con mayor atenuación del espectro debido a su alta contaminación, la cual provoca que ciertos gases como el dióxido de nitrógeno o el ozono tengan repercusiones destacables. Aunque sin duda el principal protagonista en este emplazamiento serían los aerosoles, los cuales tienen altas concentraciones y por tanto un espesor óptico característico mucho mayor que el de los otros dos emplazamientos, siendo el AOD para 500 nm de 0,515 en Pekín, 0,218 en Padang y 0,052 para Alice Springs. La actuación de los aerosoles es fácilmente identificable en la curvatura que realizan las transmitancias globales en la figura 4.5.1.9 para longitudes de onda previas a 1000 nm con mayor intensidad.

Por último, en dicha figura es destacable la baja transmitancia en las regiones del espectro entre 3000 y 4000 nm, las cuales no se habían mostrado hasta ahora, y que se deben mayoritariamente a la acción del CO_2 .

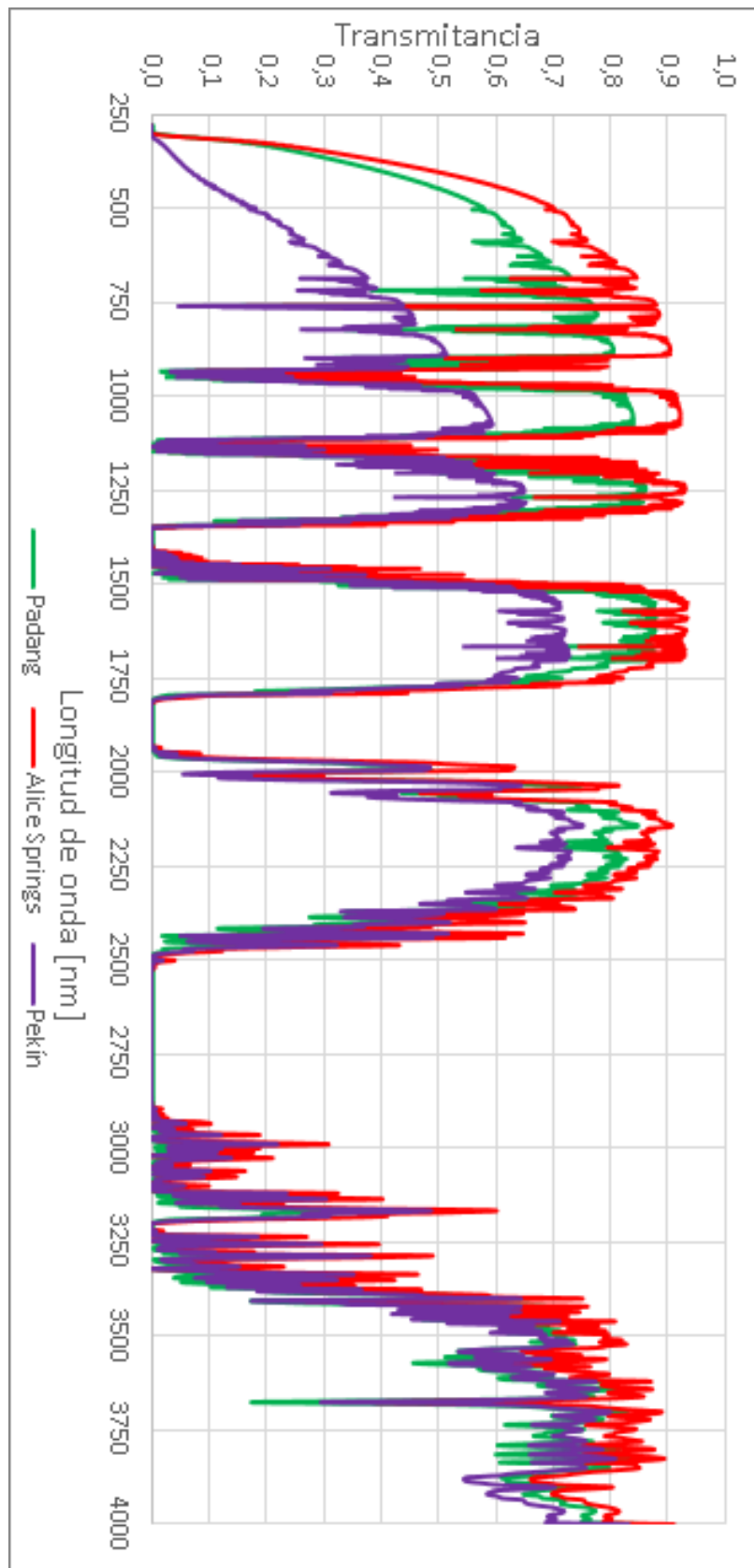


Figura 4.5.1.9. Transmitancia total atmosférica para diferentes emplazamientos.

4.5.2 Efecto de la transmitancia sobre el espectro solar

Pekín es el emplazamiento más perjudicado a nivel atmosférico, esto se debe a su mayor AM, sus bajas transmitancias en componentes como el NO_2 y en particular los aerosoles. Por este hecho se ha seleccionado para analizar en profundidad el efecto que sufre en cada región del espectro y cuáles son los principales responsables.

La línea roja representa la transmitancia de los aerosoles, domina en el resultado de la transmitancia total (línea negra) siendo su efecto siempre el más atenuante excepto para los siguientes casos:

-En longitudes de onda muy bajas (menores de 350 nm) la dispersión molecular de Rayleigh se aproxima a valores de transmitancia entre 0,2 y 0; a su vez el ozono llega a valores nulos de transmitancia que impiden el paso de toda radiación por debajo de los 300 nm.

-A partir de los 750 nm aparecen los picos por el O_2 , el CO_2 , los cuales llegan a descender sus transmitancias de forma clara por debajo de la de los aerosoles en puntos como los 760 nm (O_2), 1432 y 1955 nm (CO_2).

-Las bandas de actuación del vapor de agua adquieren valores de transmitancia de entre 0,1 y 0 en sus puntos más críticos, lo cual indica la importancia de este parámetro. Longitudes de onda como 935, 1135, 1356-1451 y 1815-1940 son varias de sus zonas más críticas como absorberdor, aunque no hay que olvidar los diferentes picos que existen.

El resultado final es una transmitancia total atmosférica que permanece cercana pero por debajo de la transmitancia de los aerosoles, y que tiene picos y bandas de alta absorción por gases como el O_2 , el CO_2 y en especial el vapor de agua.

El efecto del NO_2 es muy destacable, ya que también altera el espectro, aunque nunca llega a ser la transmitancia dominante, y es singular en este emplazamiento ya que en otros de atmósferas más limpias se podría evitar su actuación.

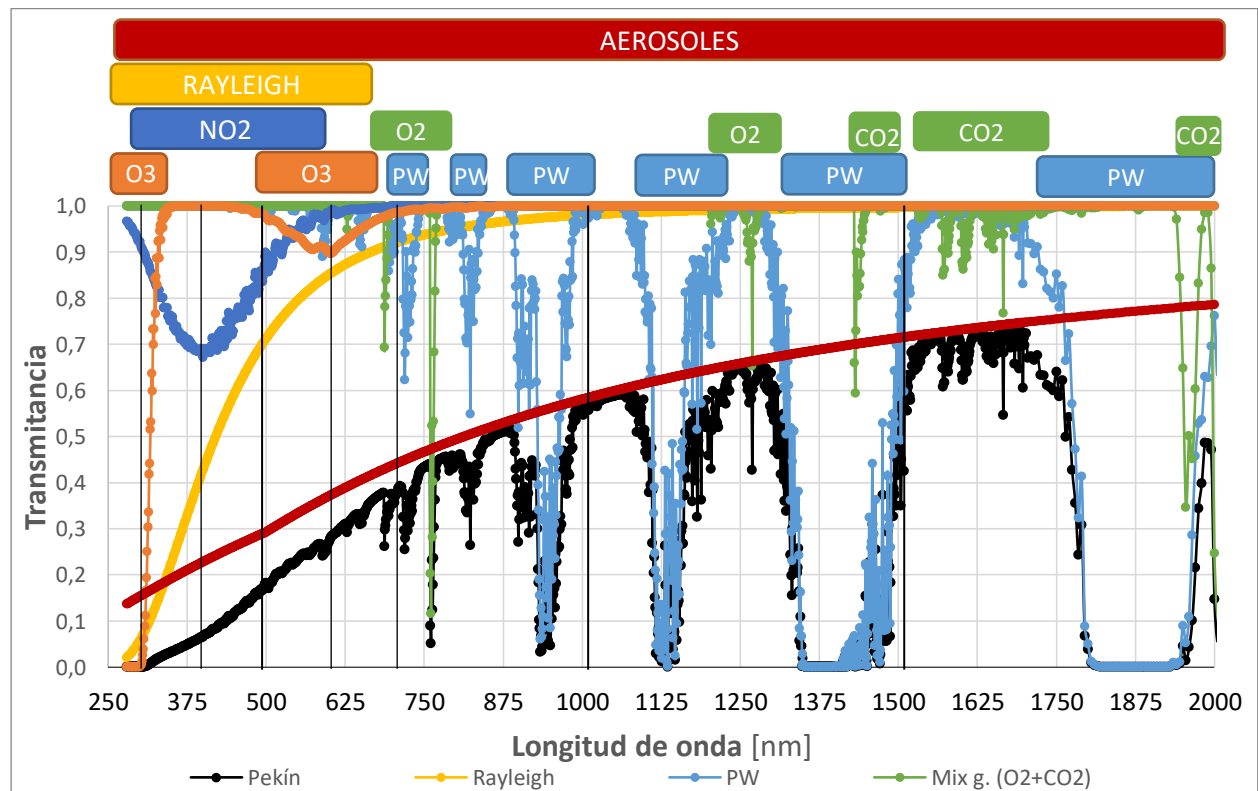


Figura 4.5.2.1. Transmitancias de Pekín.

En la zona superior de la figura 4.5.2.1 y 4.5.2.2 aparecen los componentes característicos que afectan a cada región del espectro. Esta leyenda sirve como aclaración de las zonas donde actúan unos parámetros u otros, aportando la facilidad de poder establecer en cada longitud de onda qué componente se han de tener

en cuenta si se desea estimar el espectro en una zona determinada del mismo.

El producto de la transmitancia total atmosférica del emplazamiento por el espectro extraterrestre AM0 [43] da la estimación del espectro concreto del emplazamiento en cuestión. Dicho espectro varía notablemente con la AM que se le haya aplicado, por lo que hay que tener en especial consideración este factor (que cambia a lo largo del día con la trayectoria del Sol). Si se deseara analizar únicamente el efecto del espesor óptico de los componentes que conforman la atmósfera, habría que establecer una masa de aire AM única para cada emplazamiento, por ejemplo, AM1.5 como se consideró en el espectro estándar.

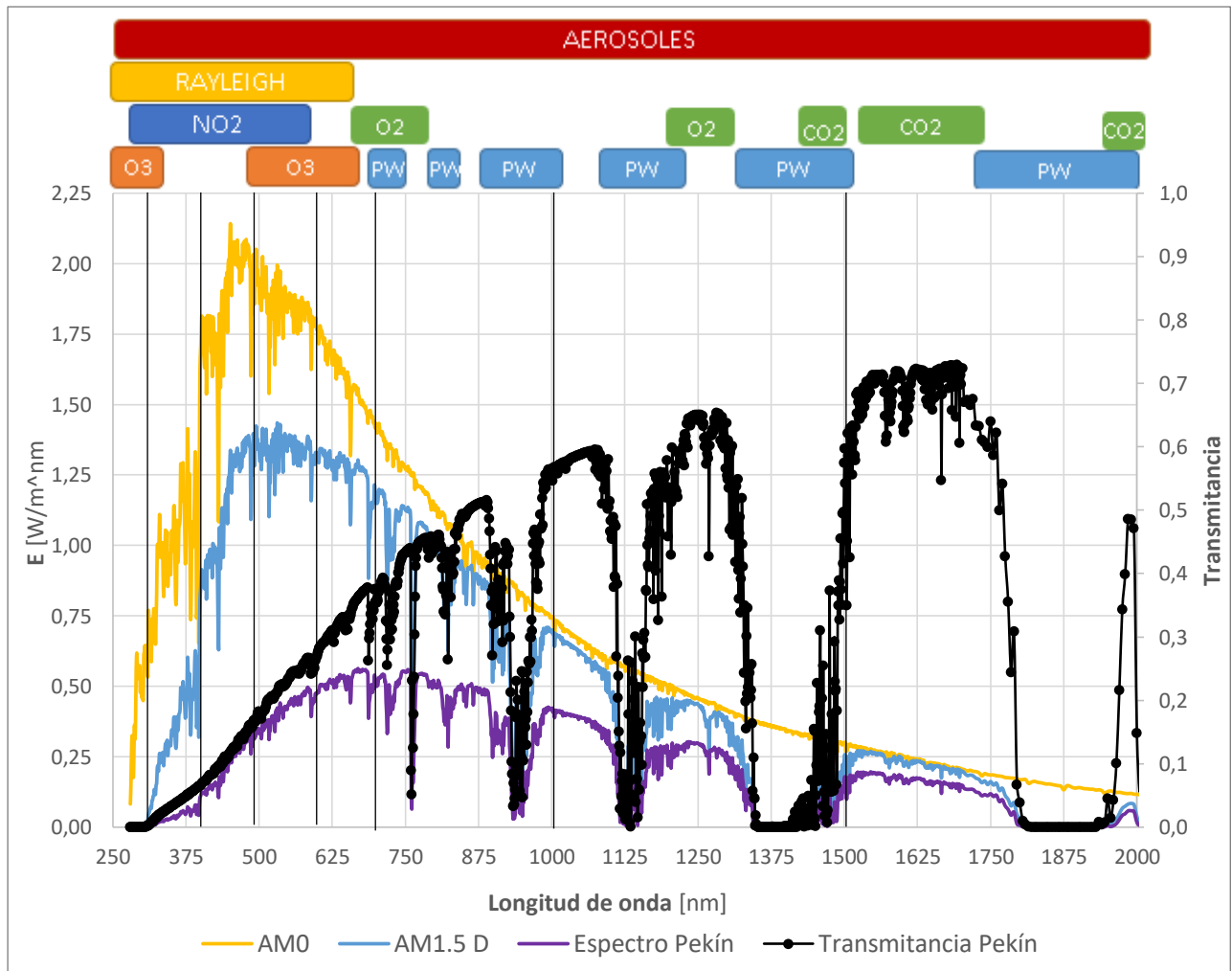


Figura 4.5.2.2. Espectro estándar AM0 y AM1.5 respecto al espectro de Pekín y su transmitancia.

El espectro directo estimado para Pekín es mucho menor que el estándar AM1.5 [17], ello se debe a que este tiene un AM2.38 y que su transmitancia es mucho menor. Los aerosoles son principales responsables de la diferencia de potencia incidente entre ambos espectros.

Tras ver las figuras podemos establecer con claridad qué componentes afectan a las siguientes regiones del espectro, las cuales están divididas según las líneas verticales negras:

- 200-300 nm: Principal absorbedor el ozono. Los secundarios son Rayleigh, aerosoles y NO₂.
- 300-400 nm: Aparecen principalmente Rayleigh, seguido de los aerosoles y el NO₂.
- 400-490 nm: Efecto de Rayleigh, aerosoles y NO₂. En este caso los aerosoles adquieren mayor importancia.
- 490-600 nm: Última aparición del NO₂, vuelve a aparecer el O₃ pero con transmitancia poco destacable. Predominan los aerosoles y Rayleigh.
- 600-700 nm: Últimos efectos de Rayleigh y del ozono, aparece un pequeño pico de O₂ en 690 nm y

predomina el impacto de los aerosoles.

- 700-1000 nm: Surgen las bandas de absorción del vapor de agua, los aerosoles siguen actuando aunque gradualmente con menor efecto y hay un pico de O_2 en 760 nm.
- 1000-1500 nm: Hay dos picos de absorción del O_2 y CO_2 en 1270 Y 1436 nm. Dos bandas de absorción del vapor de agua son fundamentales, cercana a 1225 y 1300-1500nm. Continúa el efecto de los aerosoles pero con menor intensidad.
- 1500-2000 nm: Vuelven a aparecer picos del CO_2 alrededor de los 1625 nm y adquiere fuerza en la zona cercana a los 2000nm. El principal absorbedor es el vapor de agua a partir de los 1765 nm, y el efecto de los aerosoles sigue decreciendo.

Los otros dos emplazamientos, Padang y Alice Springs, tienen unos espectros menos acusados por los componentes atmosféricos, para su estudio se seguiría el mismo análisis que con el espectro de Pekín, teniendo en cuenta las diferencias entre las transmitancias vistas en la sección anterior 4.5.1.

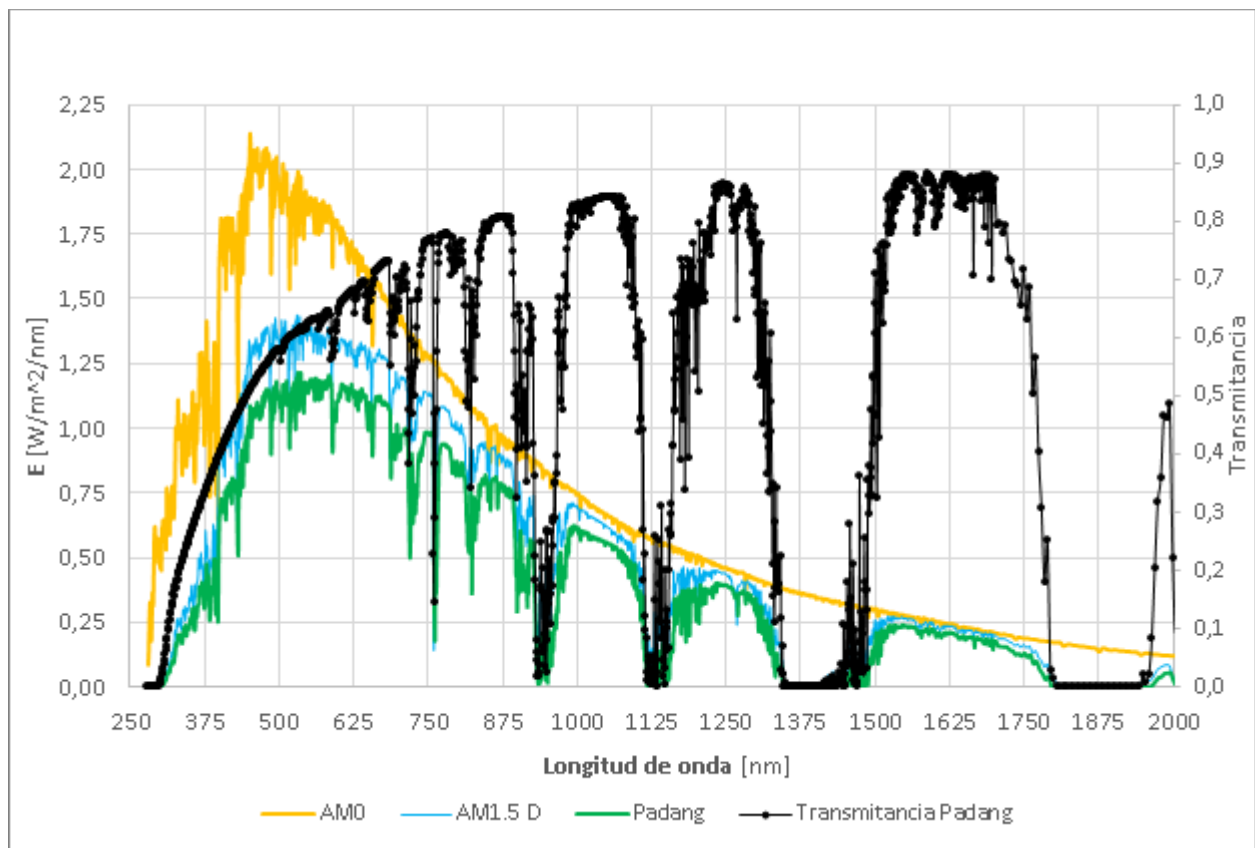


Figura 4.5.2.3. Espectro estándar AM0 y AM1.5 respecto al espectro de Padang y su transmitancia.

El espectro de Padang, pese a tener una masa de aire ligeramente menor (AM1.47) que la estándar AM1.5 su espectro está por debajo. Ello se debe esencialmente a que la carga de los aerosoles, los cuales son de tipo rural y poseen un diámetro menor que los de los otros tipos de aerosoles, lo cual implica mayor efecto en longitudes de onda corta. Además, los picos en Padang, como se ya se ha comprobado previamente, son más acentuados por su alto nivel de humedad, característico de una atmósfera tropical.

Los picos de absorción derivados de la acción del O_2 y CO_2 crean atenuaciones muy similares en ambos espectros, incluso llegando a ser mayor en el estándar. Esto se debe a que dicho parámetro sí tiene alta dependencia con AM y supera el efecto de los aerosoles en varios puntos.

A continuación se muestra el espectro de Alice Springs, el cual viene condicionado por una transmitancia total menor que la de los otros dos emplazamientos, por lo que obtienen el espectro solar de mayor energía:

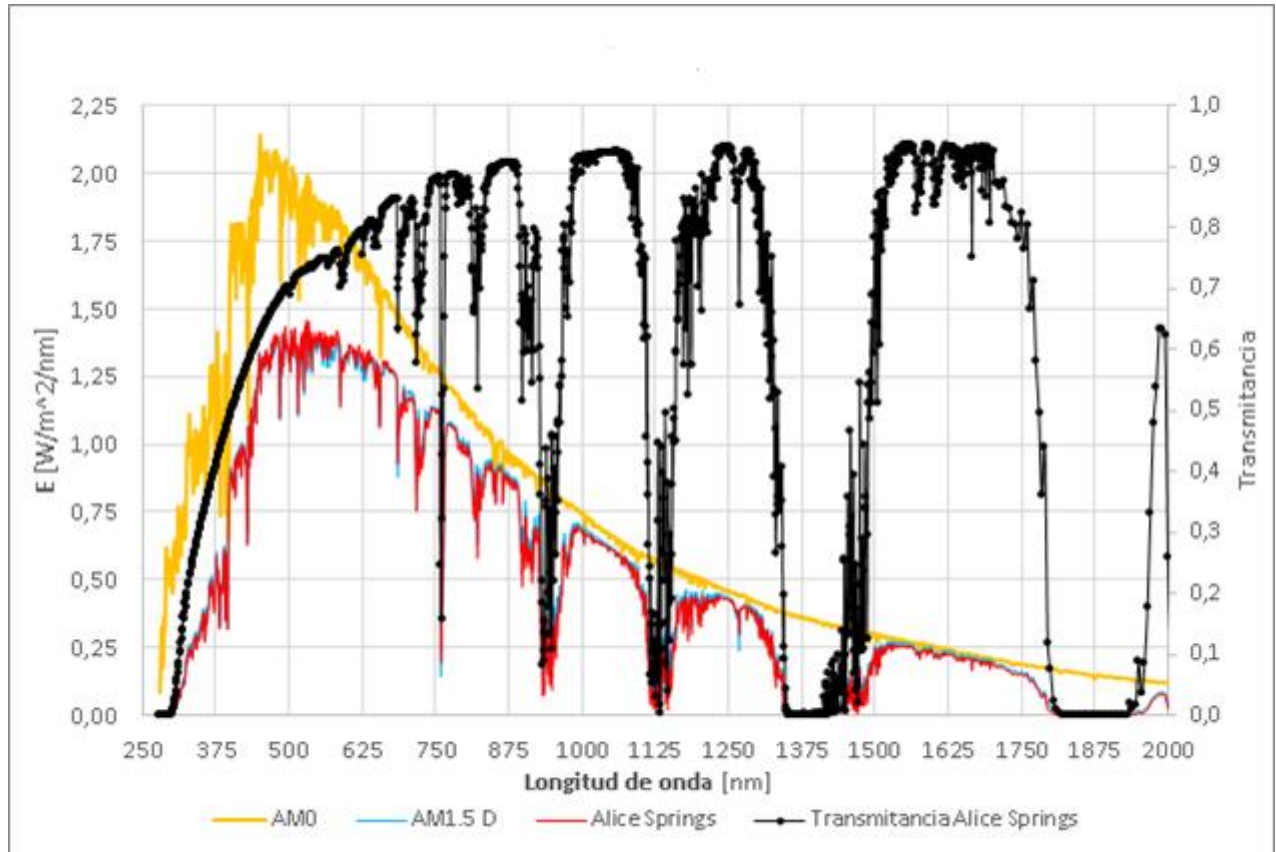


Figura 4.5.2.4. Espectro estándar AM0 y AM1.5 respecto al espectro de Alice Springs y su transmitancia.

El espectro de Alice Spring es muy similar al directo estándar de AM1.5, sin embargo es importante tener en cuenta que este está calculado para AM1.8, su medida de masa de aire media. Si tuviera menor AM sin duda estaría por encima del espectro estándar ya que se trata de una zona muy favorable a la llegada de radiación directa.

En este caso, a partir de los 750 nm nos encontramos con una atmósfera cuya transmitancia el valor de 0,9 excepto por los efectos de los gases como el O_2 , CO_2 y vapor de agua. Ello implica un paso de la radiación mucho mayor que en otros emplazamientos pese a que Alice Springs se localiza cercana pero por fuera del Trópico de Capricornio. Este hecho podría implicar un AM mucho mayor que el de Padang, sin embargo no es así gracias a los 576m de altitud que posee este emplazamiento.

Zonas desérticas como el Sahara o el desierto del Gobi podrían tener espectros semejantes, sin embargo habría que concretar en cada caso características destacables como el AOD con aerosoles de tipo polvo (que pueden crear atmósferas de gran turbidez) y las masas ópticas o AM.

Por último se exponen los espectros solares directos tanto estándar como los calculados en cada emplazamiento (figura 4.5.2.5):

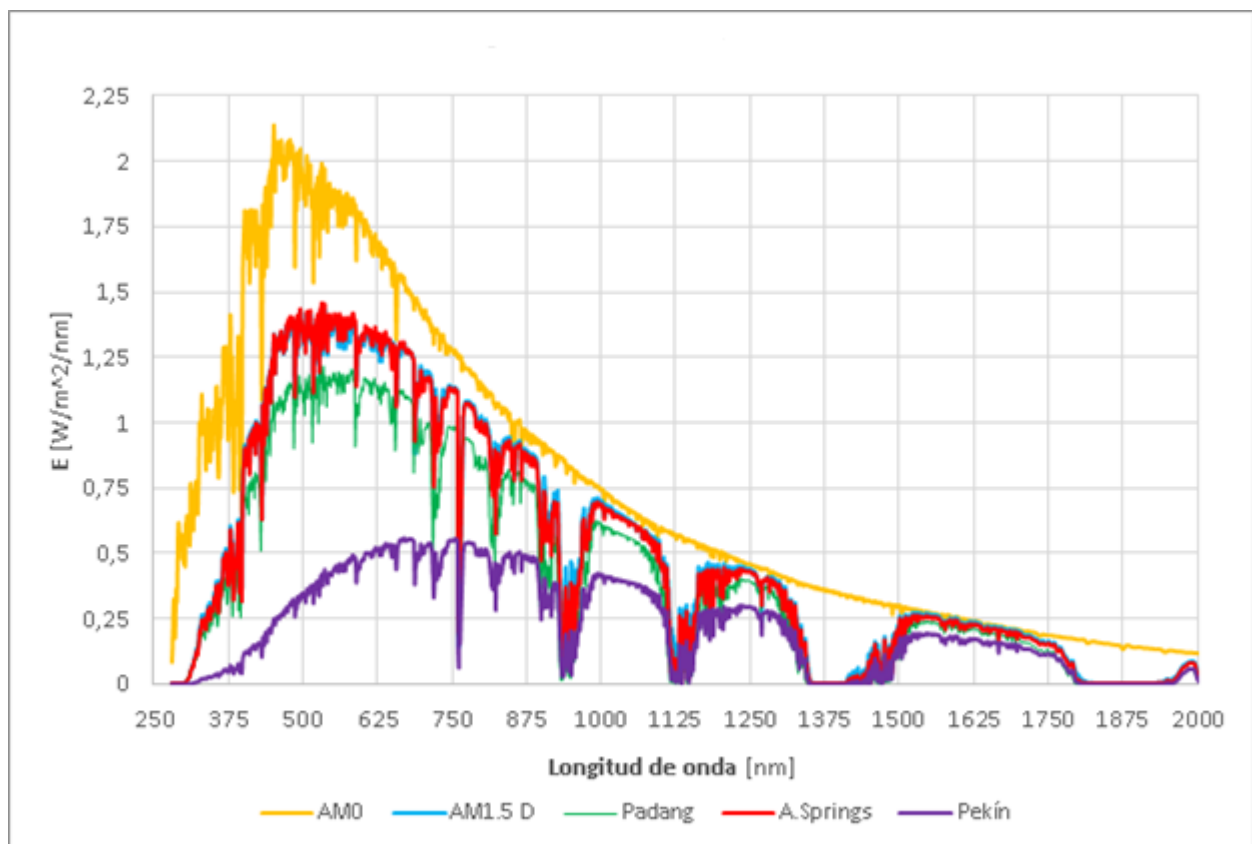


Figura 4.5.2.5. Espectros directos de los emplazamientos y el estándar AM0 y AM1.5.

El conjunto de espectros directos es la aplicación de la figura 4.5.1.9, la cual muestra las transmitancias totales de los tres emplazamientos, al espectro extraterrestre AM0. Los resultados obtenidos son los esperables, el espectro de Pekín se halla por debajo del resto y con una curvatura inicial de menos pendiente. Este hecho, como se ha comentado con anterioridad, se trata principalmente de la acción de los aerosoles, los cuales se encuentran en mayor concentración que en cualquier otro emplazamiento de los ya estudiados.

El espectro de Padang se encuentra por debajo del AM1.5 estándar y del de Alice Springs, condición favorecida igualmente por sus aerosoles de tipo rural y la humedad de su atmósfera, es posible que si su atmósfera estuviera limpia de aerosoles y de las emisiones de la ciudad su espectro fuera superior al resto por la ventajosa situación geográfica en la que se encuentra: a menos de un grado de la línea de ecuador.

Como idea conclusiva respecto a los componentes atmosféricos, cabe destacar la gravedad de los aerosoles, los cuales son la principal fuente de dispersión de la radiación para aquellos emplazamientos que no se encuentren en una atmósfera limpia, alejada de la actividad humana y de efectos ambientales diversos (corrientes de viento con polvos del desierto, zonas con influencia del mar, ...). La actuación del vapor de agua es muy determinante para el cálculo del espectro en donde se encuentren sus bandas de absorción, sin embargo, exceptuando climas extremos, no varía notablemente respecto al emplazamiento. También es fundamental establecer una masa de aire adecuada al emplazamiento, teniendo en cuenta latitud y altitud. El resto de los componentes son menos influyentes en las regiones del espectro por debajo de los 1500 nm, aunque sí se ha de tener en cuenta las contribuciones puntuales del O₂, o de NO₂ y ozono en zonas contaminadas. El efecto de Rayleigh y del ozono (este último por debajo de 300 nm) tiene transmitancias bajas por lo que se ha de tener en cuenta, sin embargo no varían notablemente respecto a la localización del emplazamiento.

5 CONCLUSIONES

Las conclusiones de este proyecto respecto a los objetivos que tiene estipulados son:

1. Se ha realizado una revisión bibliográfica de los principales parámetros que afectan a la distribución espectral de la radiación. A su vez, la influencia de cada parámetro viene caracterizada por diferentes modelos teóricos, cuya validez depende fuertemente del emplazamiento seleccionado.
2. Las diferentes regiones del espectro solar incidente en la superficie de la Tierra se han asociado a cada uno de estos parámetros; se ha observado que la influencia de estos parámetros depende de la longitud de onda, no siendo igual para todo el espectro. Por ejemplo, un factor con un elevado peso en la atenuación de la irradiancia es el vapor de agua que se encuentra distribuida por toda la región espectral; por el contrario, la influencia del ozono (O_3) está más localizada en una zona estrecha: 600 nm aprox.
3. Se han seleccionado tres localizaciones con condiciones climatológicas muy diferentes: a) mucha humedad (Padang), b) mucha contaminación por aerosoles (Pekin) y c) ambiente muy seco y con alta irradiancia (Alice Spring).
4. Para cada una de estas localizaciones se han implementado los modelos teóricos analizados en el punto [2] y se ha estimado la distribución espectral de la irradiancia en cada uno. Se comparan los resultados obtenidos con los espectros extraterrestre (AM0) y con el espectro normalizado AM1.5 de la norma ASTM G173-03. De este modo hemos conseguido explicar las diferentes atenuaciones que el espectro real en superficie experimenta respecto al extraterrestre.
5. Se observa una buena correlación entre los factores que explican la atenuación y las consecuencias que los modelos teóricos predicen para cada uno de ellos.

Como conclusión principal del trabajo, resaltar que en base a los diferentes modelos recogidos en la memoria, ha sido posible predecir la distribución espectral de la irradiancia para cada emplazamiento. Esto se ha realizado con la hipótesis de considerar únicamente la radiación directa, y no se ha considerado la radiación difusa.

6 LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

A lo largo del proyecto se han conocido diferentes puntos que requieren de mayor investigación, los más destacables son:

- Validación experimental de los modelos teóricos propuestos: a través de mediciones reales del espectro y de la composición atmosférica en los diferentes emplazamientos estudiados podría verificarse la validez de este estudio.
- Nubosidad: es un parámetro difícil de modelar y cuyos efectos sobre el espectro aún requieren de una mayor especificación. Su interacción con la radiación produce una atenuación de la misma altísima, ya sea por la reflexión por el efecto del vapor de agua que contienen, por ello es un componente atmosférico clave en muchas de las regiones del planeta.
- Radiación difusa: se han propuesto una serie de modelos y calculado varios de los parámetros necesarios para aplicarlos (las transmitancias de los componentes atmosféricos), sin embargo no se ha llegado a estudiar en profundidad para los diferentes emplazamientos. Sería conveniente continuar su investigación ya que es una radiación útil para múltiples aplicaciones tecnológicas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEA (2018). *World Energy Balance 2018*. París: International Energy Agency.
- [2] Le Quéré et al. (2017). *Global Carbon Project*. Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC) [Consulta: 22 mayo 2019] Disponible en: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- [3] Energía y Sociedad (2014). *Manual de la energía*. [Consulta: 21 mayo 2019] Disponible en: <http://www.energiaysociedad.es>
- [4] Unión Europea (2015). *Acuerdo de París*. [consulta: 21 mayo 2019] Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es
- [5] IEA (2017). *World Energy outlook 2017*. París: International Energy Agency.
- [6] Unión Europea (2007). *Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020*. [consulta: 21 mayo 2019] Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es#tab-0-0
- [7] G.L. Morini (2018). *Diapositivas de Sistemi Solari e Geotermici*. Bolonia: Escuela de Ingeniería de la Universidad de Bolonia.
- [8] Raquel González Aríztegui (2016). *Predicción de radiación solar a partir de modelos de series temporales*, Trabajo Fin de Grado. Navarra: Universidad Pública de Navarra y CENER (Centro Nacional de Energías Renovables).
- [9] M.J. Mediavilla Pérez (2005). *Atmosfera: materia y radiación*. ISBN: 9788495495556, Madrid: Equipo Sirius.
- [10] C.A. Gueymard y H.D. Kambezidis (2004). Solar spectral radiation. En T. Muneeral (Coord.), *Solar Radiation and Daylight Models: For the Energy Efficient Design of Buildings* (pp. 221-301). Routledge, 2007.
- [11] Kelen A. Dornelles, Mauricio Roriz, Victor F. Roriz y Rosana M. Caram (2011) *Thermal performance of white solar-reflective paints for cool roofs and the influence on the thermal comfort and building energy use in hot climates*. Conference: ISES Solar World Congress 2011, At Kassel, Germany
- [12] C.Gueymard (1995) *SMARTS2, A Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine: Algorithms and performance assessment*. Florida: Florida Solar Energy Center/University of Central Florida.
- [13] PVLighthouse. [Consulta: 2 junio 2019] Disponible en: [https://www2.pvlighthouse.com.au/resources/courses/altermatt/The%20Solar%20Spectrum/The%20air%20mass%20\(AM\).aspx](https://www2.pvlighthouse.com.au/resources/courses/altermatt/The%20Solar%20Spectrum/The%20air%20mass%20(AM).aspx)
- [14] R.J. Moreno Sáez (2014). *Modelado del espectro solar y su influencia en el funcionamiento de módulos fotovoltaicos de lámina delgada*, Tesis Doctoral. Málaga: Universidad de Málaga.
- [15] Geert Litjens (2013). *Investigation of Spectral Effects on Photovoltaic Technologies by Modelling the Solar Spectral Distribution*. MSc. Thesis Energy Science, Utrecht: Universidad de Utrecht y Fraunhofer ISE.
- [16] F. Kasten and A. T. Young (1989). Revised optical air mass tables and approximation formula, *Applied Optics* 28(22), 4735–4738.
- [17] NREL (National Renewable Energy Laboratory): Reference Air Mass 1.5 Spectra. [consulta: 16 mayo

- 2019] Disponible en: <https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/spectra-am1.5.html>
- [18] PVEDUCATION.ORG: A collection of resources for the photovoltaic educator. [consulta: 13 mayo 2019] Disponible en: <http://pveducation.org/>
- [19] Hyperphysics (C. R. Nave, 2010). [consulta: 17 mayo 2019] Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/hph.html>
- [20] W.B.Stine and R.W.Harrigan. *Version of "Solar Energy Systems Design" (John Wiley and Sons, Inc. 1986) retitled "Power From The Sun.* [Consulta: 17 mayo 2019] Disponible en: <http://www.powerfromthesun.net/>
- [21] H. Tsubomura, A. Yamamoto, O. Matsuo and Y. Okada (1980). The visible absorption spectrum of water, *Proc. Japan Acad.* **56**Ser. B 403-407.
- [22] José A. Martínez Lozano (2003). *Apuntes de atmósfera y radiación.* Valencia: Universidad de Valencia
- [23] Richard E. Bird and Carol Riordan (1985). *Simple Solar Spectral Model for Direct and Diffuse Irradiance on Horizontal and Tilted Planes at the Earth's Surface for Cloudless Atmospheres.* Golden: Solar Energy Research Institute.
- [24] NASA Water Vapor Project, NVAP (2008). [Consulta 20 mayo 2019] Disponible en <https://friendsofscience.org/>
- [25] NASA, Imagen realizada por Atmospheric Infrared Sounder (AIRS), mayo 2009
- [26] CO2 Earth. [Consulta 1 junio 2019] Disponible en: <https://www.co2.earth/>
- [27] EEA (2018). *European Union emission inventory report 1990-2016 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP).* Copenhagen: European Environment Agency.
- [28] Georgoulías, A. K., van der A, R. J., Stammes, P., Boersma, K. F., and Eskes, H. J. (2019). Trends and trend reversal detection in two decades of tropospheric NO₂ satellite observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 6269-6294.
- [29] Laura Fernández Rivas (2015). *El papel de los óxidos de nitrógeno en el Cambio Climático. Efectos sobre la salud,* Trabajo Fin de Grado. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- [30] WMO (2011). *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010,* Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 52, Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- [31] Elena Montilla-Rosero (2010). Medidas de radiación solar y aerosoles atmosféricos en el ártico, *TRIM: revista de investigación multidisciplinar*, N^o. 1, págs. 51-71. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- [32] NASA (2003). Imagen realizada por Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR), Langley Atmospheric Sciences Data Center.
- [33] Dubovik et al. (2002). Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations, *J. Atmos. Sci.*, 59, 590-608,.
- [34] Stier et al. (2005). Theaerosol-climate model ECHAM5-HAM, *Atm. Chem. Phys.*,5, 1125–1165.
- [35] Salvador de la Cruz Romero (2017). *Análisis de la radiación global solar en función de la nubosidad,* Trabajo Fin de Grado. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- [36] Bernhard Haurwitz (1948). Insolation in relation to cloud type ENLACE, *Journal of Meteorology* 5, 110-113.
- [37] Huan Jia Yan (2015). *Modeling Solar Spectral Irradiance under Tropical Atmospheric Conditions,* Thesis. Singapur: Universidad Nacional de Singapur.
- [38] M^a Ángeles Obregón Muñoz (2012). *Estudio de los aerosoles en columna sobre Cáceres a partir de medidas radiométricas,* Tesis Doctoral. Badajoz: Universidad de Extremadura.

[39] WorlAtlas. [Consulta: 20 junio 2019] Disponible en: <https://www.worldatlas.com>

[40] 2017 The World Bank, Solar resource data: Solargis. [Consulta: 23 junio 2019] Disponible en: <https://globalsolaratlas.info/>

[41] World Weather and Climate Information. [Consulta 20 junio 2019] Disponible en: <https://weather-and-climate.com>

[42] Yu, X., Lü, R.H., Liu, C.Y., Yuan, L., Shao, Y.Y., Zhu, B., & Lei, L. (2017). Seasonal variation of columnar aerosol optical properties and radiative forcing over Beijing, China, *Atmospheric Environment* Volume 166, Pages 340-350

[43] NREL (National Renewable Energy Laboratory). Solar Spectra: Air Mass Zero <https://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am0/>

APÉNDICE

Spectro extraterrestre y coeficientes de absorción [12]

λ	$E_{0n\lambda}$	$A_{w\lambda}$	$A_{g\lambda}$	$A_{o\lambda}$	$A_{n\lambda}$	λ	$E_{0n\lambda}$	$A_{w\lambda}$	$A_{g\lambda}$	$A_{o\lambda}$	$A_{n\lambda}$
280	0.0906	0.00E+00	0.00E+00	1.05E+02	1.46	347	0.9804	0.00E+00	0.00E+00	6.98E-03	11.85
281	0.1585	0.00E+00	0.00E+00	9.44E+01	1.52	348	0.9314	0.00E+00	0.00E+00	5.06E-03	12.15
282	0.2692	0.00E+00	0.00E+00	8.47E+01	1.55	349	0.8842	0.00E+00	0.00E+00	2.43E-03	11.49
283	0.3222	0.00E+00	0.00E+00	7.92E+01	1.68	350	1.0183	0.00E+00	0.00E+00	2.04E-03	11.7
284	0.3025	0.00E+00	0.00E+00	7.12E+01	1.78	351	1.0191	0.00E+00	0.00E+00	3.42E-03	11.85
285	0.1865	0.00E+00	0.00E+00	6.35E+01	1.91	352	0.9827	0.00E+00	0.00E+00	5.02E-03	11.68
286	0.2546	0.00E+00	0.00E+00	5.77E+01	1.94	353	0.9887	0.00E+00	0.00E+00	2.31E-03	12.35
287	0.3578	0.00E+00	0.00E+00	5.21E+01	1.99	354	1.1280	0.00E+00	0.00E+00	1.10E-03	13.07
288	0.3225	0.00E+00	0.00E+00	4.52E+01	2.08	355	1.1298	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-03	12.71
289	0.4028	0.00E+00	0.00E+00	4.05E+01	2.21	356	1.0317	0.00E+00	0.00E+00	1.22E-03	13.17
290	0.5596	0.00E+00	0.00E+00	3.61E+01	2.33	357	0.8369	0.00E+00	0.00E+00	1.36E-03	13.48
291	0.6110	0.00E+00	0.00E+00	3.23E+01	2.52	358	0.7555	0.00E+00	0.00E+00	1.26E-03	12.85
292	0.5675	0.00E+00	0.00E+00	2.78E+01	2.58	359	0.8474	0.00E+00	0.00E+00	1.02E-03	12.72
293	0.5500	0.00E+00	0.00E+00	2.50E+01	2.60	360	1.1151	0.00E+00	0.00E+00	9.62E-04	13.23
294	0.5428	0.00E+00	0.00E+00	2.16E+01	2.71	361	0.8927	0.00E+00	0.00E+00	7.66E-04	13.51
295	0.5453	0.00E+00	0.00E+00	1.92E+01	2.83	362	0.9129	0.00E+00	0.00E+00	5.74E-04	13.5
296	0.5731	0.00E+00	0.00E+00	1.64E+01	3.05	363	1.0740	0.00E+00	0.00E+00	3.37E-04	13.55
297	0.5064	0.00E+00	0.00E+00	1.46E+01	3.30	364	1.0922	0.00E+00	0.00E+00	3.38E-04	14.19
298	0.5286	0.00E+00	0.00E+00	1.25E+01	3.31	365	1.0560	0.00E+00	0.00E+00	3.13E-04	14.5
299	0.5024	0.00E+00	0.00E+00	1.11E+01	3.38	366	1.2973	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	13.98
300	0.4700	0.00E+00	0.00E+00	9.52E+00	3.42	367	1.2525	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.21
301	0.4693	0.00E+00	0.00E+00	8.29E+00	3.62	368	1.1615	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.13
302	0.4466	0.00E+00	0.00E+00	7.29E+00	3.90	369	1.2021	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.15
303	0.6041	0.00E+00	0.00E+00	6.22E+00	4.08	370	1.2907	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.09
304	0.6278	0.00E+00	0.00E+00	5.58E+00	4.16	371	1.1480	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.75
305	0.6373	0.00E+00	0.00E+00	4.69E+00	4.24	372	1.0890	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.95
306	0.6000	0.00E+00	0.00E+00	4.20E+00	4.38	373	1.0449	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.55
307	0.6143	0.00E+00	0.00E+00	3.59E+00	4.51	374	0.9539	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.39
308	0.6660	0.00E+00	0.00E+00	3.12E+00	4.70	375	0.9484	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.3
309	0.6097	0.00E+00	0.00E+00	2.82E+00	4.96	376	1.1345	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.4
310	0.5055	0.00E+00	0.00E+00	2.31E+00	5.09	377	1.2004	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.54
311	0.7623	0.00E+00	0.00E+00	2.11E+00	5.30	378	1.4325	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.55
312	0.7005	0.00E+00	0.00E+00	1.78E+00	5.47	379	1.2202	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.55
313	0.6974	0.00E+00	0.00E+00	1.53E+00	5.49	380	1.0939	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.6
314	0.7428	0.00E+00	0.00E+00	1.39E+00	5.71	381	1.2592	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.23
315	0.6868	0.00E+00	0.00E+00	1.12E+00	5.88	382	0.9514	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.93
316	0.5852	0.00E+00	0.00E+00	1.05E+00	6.06	383	0.7072	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.3
317	0.7612	0.00E+00	0.00E+00	8.52E-01	6.40	384	0.7826	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.7
318	0.7193	0.00E+00	0.00E+00	8.11E-01	6.51	385	1.0801	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.44
319	0.7069	0.00E+00	0.00E+00	5.82E-01	6.65	386	0.9598	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.35
320	0.7952	0.00E+00	0.00E+00	6.59E-01	6.86	387	0.9969	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.7
321	0.7724	0.00E+00	0.00E+00	4.01E-01	6.94	388	0.9929	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.86
322	0.7576	0.00E+00	0.00E+00	4.59E-01	7.22	389	1.0789	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.97
323	0.6528	0.00E+00	0.00E+00	4.06E-01	7.33	390	1.2447	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.97
324	0.7345	0.00E+00	0.00E+00	2.22E-01	7.55	391	1.3312	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	16.25
325	0.8291	0.00E+00	0.00E+00	3.41E-01	7.80	392	1.2405	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.82
326	0.9792	0.00E+00	0.00E+00	2.14E-01	7.98	393	0.6884	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.25
327	0.9993	0.00E+00	0.00E+00	1.55E-01	8.11	394	0.7939	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.5
328	0.9315	0.00E+00	0.00E+00	2.41E-01	8.28	395	1.2850	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	16.11
329	0.9684	0.00E+00	0.00E+00	1.03E-01	8.49	396	1.2319	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.68
330	1.1286	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-01	8.55	397	0.6265	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	16.1
331	0.9718	0.00E+00	0.00E+00	1.54E-01	8.75	398	1.3783	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	16.4
332	1.0013	0.00E+00	0.00E+00	7.16E-02	9.30	399	1.6672	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	16.43
333	0.9760	0.00E+00	0.00E+00	5.39E-02	9.25	400	1.7163	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	16.88
334	0.9487	0.00E+00	0.00E+00	9.91E-02	9.23	401	1.7519	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	16.1
335	1.0110	0.00E+00	0.00E+00	3.67E-02	9.43	402	1.8012	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.25
336	0.9065	0.00E+00	0.00E+00	2.85E-02	9.57	403	1.7126	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.55
337	0.8107	0.00E+00	0.00E+00	6.23E-02	9.61	404	1.7622	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	16.2
338	0.9240	0.00E+00	0.00E+00	3.92E-02	10.30	405	1.6983	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15.7
339	0.9737	0.00E+00	0.00E+00	1.66E-02	10.43	406	1.6068	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	14.75
340	1.0457	0.00E+00	0.00E+00	3.07E-02	10.61	407	1.6164	0.00E+00	0.00E+00	5.57E-05	15.5
341	0.9405	0.00E+00	0.00E+00	1.77E-02	10.72	408	1.6861	0.00E+00	0.00E+00	1.30E-04	16.64
342	1.0010	0.00E+00	0.00E+00	7.60E-03	10.28	409	1.8466	0.00E+00	0.00E+00	1.86E-04	16.45
343	1.0420	0.00E+00	0.00E+00	9.41E-03	10.49	410	1.5299	0.00E+00	0.00E+00	2.26E-04	16.22
344	0.8328	0.00E+00	0.00E+00	2.39E-02	10.81	411	1.7390	0.00E+00	0.00E+00	2.46E-04	15.33
345	0.9194	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-02	11.19	412	1.8454	0.00E+00	0.00E+00	2.28E-04	16.2
346	0.9292	0.00E+00	0.00E+00	5.62E-03	11.59	413	1.7370	0.00E+00	0.00E+00	2.02E-04	16.5

414	1.8192	0.00E+00	0.00E+00	2.12E-04	15.39	489	1.8816	7.08E-06	0.00E+00	1.95E-02	8.5
415	1.7688	0.00E+00	0.00E+00	2.68E-04	14.3	490	2.0807	1.54E-06	0.00E+00	2.04E-02	7.07
416	1.8414	0.00E+00	0.00E+00	3.39E-04	14.3	491	2.0092	1.52E-06	0.00E+00	2.11E-02	6.45
417	1.8174	0.00E+00	0.00E+00	3.96E-04	14.92	492	1.8427	0.00E+00	0.00E+00	2.14E-02	6.55
418	1.6966	0.00E+00	0.00E+00	4.26E-04	15.21	493	2.0118	0.00E+00	0.00E+00	2.17E-02	7.21
419	1.7613	0.00E+00	0.00E+00	4.32E-04	15.7	494	1.9566	0.00E+00	0.00E+00	2.21E-02	7.69
420	1.6368	0.00E+00	0.00E+00	4.32E-04	15.82	495	2.0698	0.00E+00	0.00E+00	2.26E-02	7.57
421	1.9260	0.00E+00	0.00E+00	4.60E-04	15.8	496	1.9730	0.00E+00	0.00E+00	2.36E-02	7
422	1.7856	0.00E+00	0.00E+00	5.41E-04	15.72	497	2.0205	0.00E+00	0.00E+00	2.50E-02	5.8
423	1.6634	0.00E+00	0.00E+00	6.79E-04	15.97	498	1.9077	0.00E+00	0.00E+00	2.68E-02	4.95
424	1.7371	0.00E+00	0.00E+00	8.62E-04	15.5	499	1.9531	0.00E+00	0.00E+00	2.90E-02	4.5
425	1.6739	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-03	13.9	500	1.9189	3.54E-06	0.00E+00	3.15E-02	4.62
426	1.7277	0.00E+00	0.00E+00	1.15E-03	13.7	501	1.8556	9.17E-06	0.00E+00	3.42E-02	5.16
427	1.5874	0.00E+00	0.00E+00	1.15E-03	14.9	502	1.8362	7.39E-05	0.00E+00	3.68E-02	5.89
428	1.6876	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-03	14.15	503	1.9477	1.78E-04	0.00E+00	3.91E-02	6
429	1.5558	0.00E+00	0.00E+00	1.02E-03	13.4	504	1.8371	1.16E-03	0.00E+00	4.08E-02	6.58
430	1.2480	0.00E+00	0.00E+00	1.02E-03	14.65	505	1.9688	1.75E-04	0.00E+00	4.19E-02	6.1
431	1.2880	0.00E+00	0.00E+00	1.10E-03	14.1	506	2.0302	3.07E-04	0.00E+00	4.22E-02	5.5
432	1.8042	0.00E+00	0.00E+00	1.28E-03	13.4	507	1.9238	3.92E-04	0.00E+00	4.19E-02	5.17
433	1.8187	0.00E+00	0.00E+00	1.44E-03	14.45	508	1.8567	2.86E-04	0.00E+00	4.13E-02	5.5
434	1.5185	0.00E+00	0.00E+00	1.50E-03	15.46	509	1.9665	1.63E-04	0.00E+00	4.04E-02	5.98
435	1.7717	0.00E+00	0.00E+00	1.50E-03	15.08	510	1.9029	9.72E-05	0.00E+00	3.99E-02	5.85
436	1.9054	0.00E+00	0.00E+00	1.51E-03	13.4	511	1.9373	2.98E-05	0.00E+00	3.96E-02	5.61
437	1.8774	0.00E+00	0.00E+00	1.60E-03	12.16	512	1.9960	8.12E-06	0.00E+00	4.01E-02	5.3
438	1.6579	0.00E+00	0.00E+00	1.81E-03	14.05	513	1.8645	5.35E-06	0.00E+00	4.10E-02	4.61
439	1.7325	0.00E+00	0.00E+00	2.16E-03	14.5	514	1.8237	0.00E+00	0.00E+00	4.20E-02	4.12
440	1.8014	0.00E+00	0.00E+00	2.60E-03	12.3	515	1.8804	0.00E+00	0.00E+00	4.29E-02	3.8
441	1.8649	3.10E-06	0.00E+00	3.01E-03	11.15	516	1.8695	0.00E+00	0.00E+00	4.38E-02	3.59
442	1.9707	2.48E-05	0.00E+00	3.31E-03	11.5	517	1.5183	0.00E+00	0.00E+00	4.47E-02	3.7
443	1.9266	1.59E-04	0.00E+00	3.51E-03	12.4	518	1.7289	0.00E+00	0.00E+00	4.55E-02	4.2
444	1.9971	4.46E-05	0.00E+00	3.52E-03	13.95	519	1.7665	0.00E+00	0.00E+00	4.64E-02	4.28
445	1.9760	5.90E-05	0.00E+00	3.36E-03	13.1	520	1.8684	0.00E+00	0.00E+00	4.74E-02	4.05
446	1.8228	5.84E-05	0.00E+00	3.16E-03	12.3	521	1.8384	0.00E+00	0.00E+00	4.89E-02	3.73
447	2.0043	1.19E-05	0.00E+00	3.06E-03	13.9	522	1.9206	0.00E+00	0.00E+00	5.05E-02	3.68
448	2.0397	2.79E-06	0.00E+00	3.14E-03	13.45	523	1.7997	0.00E+00	0.00E+00	5.25E-02	3.75
449	2.0130	0.00E+00	0.00E+00	3.43E-03	11.79	524	1.9088	9.81E-06	0.00E+00	5.49E-02	4.3
450	2.0902	0.00E+00	0.00E+00	3.77E-03	11.7	525	1.9470	1.26E-05	0.00E+00	5.75E-02	4.77
451	2.1812	0.00E+00	0.00E+00	4.01E-03	11.71	526	1.8630	9.63E-07	0.00E+00	6.01E-02	4.52
452	2.0721	0.00E+00	0.00E+00	4.10E-03	11.9	527	1.6928	9.51E-06	0.00E+00	6.28E-02	4.17
453	1.8733	0.00E+00	0.00E+00	4.08E-03	11.21	528	1.8548	9.39E-07	0.00E+00	6.54E-02	3.89
454	2.0484	0.00E+00	0.00E+00	4.10E-03	11.2	529	1.9819	4.48E-06	0.00E+00	6.79E-02	3.62
455	1.9586	0.00E+00	0.00E+00	4.29E-03	10.91	530	1.8887	2.48E-06	0.00E+00	7.01E-02	3.6
456	2.1017	0.00E+00	0.00E+00	4.73E-03	10.51	531	2.0090	2.45E-06	0.00E+00	7.20E-02	3.53
457	2.1161	0.00E+00	0.00E+00	5.43E-03	11.77	532	1.9100	0.00E+00	0.00E+00	7.34E-02	3.45
458	2.0026	0.00E+00	0.00E+00	6.30E-03	11.49	533	1.8172	0.00E+00	0.00E+00	7.43E-02	3.06
459	2.0615	0.00E+00	0.00E+00	7.20E-03	11.3	534	1.8898	0.00E+00	0.00E+00	7.48E-02	2.6
460	2.0216	0.00E+00	0.00E+00	8.07E-03	11.47	535	1.9271	0.00E+00	0.00E+00	7.49E-02	2.29
461	2.1087	0.00E+00	0.00E+00	8.71E-03	10.72	536	1.9720	0.00E+00	0.00E+00	7.47E-02	2.21
462	2.0854	0.00E+00	0.00E+00	9.00E-03	11.5	537	1.8126	0.00E+00	0.00E+00	7.47E-02	2.35
463	2.1247	0.00E+00	0.00E+00	8.93E-03	11.75	538	1.9208	2.26E-06	0.00E+00	7.51E-02	2.7
464	2.0229	0.00E+00	0.00E+00	8.49E-03	10.3	539	1.8649	6.10E-06	0.00E+00	7.58E-02	2.59
465	1.9781	0.00E+00	0.00E+00	7.96E-03	9.1	540	1.7989	4.50E-05	0.00E+00	7.69E-02	2.3
466	2.0527	0.00E+00	0.00E+00	7.72E-03	9.86	541	1.8084	2.00E-04	0.00E+00	7.82E-02	2.65
467	1.9384	2.12E-06	0.00E+00	7.97E-03	10.15	542	1.8804	2.12E-04	0.00E+00	7.98E-02	3.09
468	2.0119	2.09E-06	0.00E+00	8.46E-03	9.21	543	1.8233	5.20E-05	0.00E+00	8.14E-02	3.1
469	2.0479	9.03E-06	0.00E+00	8.94E-03	8.65	544	1.9406	1.53E-04	0.00E+00	8.29E-02	3.03
470	1.9206	3.34E-05	0.00E+00	9.39E-03	8.62	545	1.9016	9.74E-05	0.00E+00	8.42E-02	3
471	1.9660	1.30E-05	0.00E+00	9.63E-03	8.78	546	1.8810	2.25E-04	0.00E+00	8.52E-02	2.74
472	2.1111	1.28E-05	0.00E+00	9.74E-03	9.15	547	1.8872	9.10E-05	0.00E+00	8.63E-02	2.88
473	1.9776	1.27E-05	0.00E+00	9.76E-03	10.6	548	1.8342	3.83E-05	0.00E+00	8.72E-02	2.88
474	2.0550	1.92E-06	0.00E+00	1.01E-02	10.95	549	1.8952	1.80E-05	0.00E+00	8.79E-02	2.7
475	2.0880	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-02	9.78	550	1.8806	1.78E-05	0.00E+00	8.86E-02	2.34
476	1.9900	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-02	8.82	551	1.8495	7.48E-06	0.00E+00	8.95E-02	2.15
477	2.0469	0.00E+00	0.00E+00	1.35E-02	8.42	552	1.8885	1.94E-06	0.00E+00	9.05E-02	2.29
478	2.1053	0.00E+00	0.00E+00	1.52E-02	8.59	553	1.8338	1.92E-06	0.00E+00	9.15E-02	2.27
479	2.0673	0.00E+00	0.00E+00	1.69E-02	9.21	554	1.8868	0.00E+00	0.00E+00	9.28E-02	1.95
480	2.1149	0.00E+00	0.00E+00	1.86E-02	8.85	555	1.8961	0.00E+00	0.00E+00	9.42E-02	1.6
481	2.0670	0.00E+00	0.00E+00	1.99E-02	8.21	556	1.8525	0.00E+00	0.00E+00	9.59E-02	1.48
482	2.0998	0.00E+00	0.00E+00	2.08E-02	7.11	557	1.7988	0.00E+00	0.00E+00	9.79E-02	1.47
483	2.0276	0.00E+00	0.00E+00	2.09E-02	6.64	558	1.8301	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-01	1.41
484	2.0091	0.00E+00	0.00E+00	2.04E-02	6.89	559	1.7430	0.00E+00	0.00E+00	1.03E-01	1.33
485	1.9786	1.49E-05	0.00E+00	1.96E-02	7.04	560	1.8020	0.00E+00	0.00E+00	1.05E-01	1.4
486	1.5715	1.09E-05	0.00E+00	1.90E-02	6.9	561	1.8708	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-01	1.53
487	1.7982	7.25E-06	0.00E+00	1.87E-02	7.35	562	1.8133	0.00E+00	0.00E+00	1.10E-01	1.7
488	1.9913	4.10E-06	0.00E+00	1.88E-02	8.92	563	1.8822	6.18E-07	0.00E+00	1.13E-01	2.12

564	1.8421	6.11E-07	0.00E+00	1.15E-01	2.29	639	1.6530	2.83E-05	0.00E+00	8.03E-02	0.335
565	1.8486	6.04E-07	0.00E+00	1.17E-01	1.98	640	1.6094	2.36E-05	0.00E+00	7.87E-02	0.332
566	1.8005	1.67E-06	0.00E+00	1.18E-01	1.54	641	1.5836	3.27E-05	0.00E+00	7.71E-02	0.331
567	1.8636	8.42E-06	0.00E+00	1.20E-01	1.6	642	1.6121	2.33E-05	0.00E+00	7.56E-02	0.33
568	1.8500	1.30E-04	0.00E+00	1.21E-01	1.69	643	1.6142	5.36E-05	0.00E+00	7.42E-02	0.329
569	1.8270	7.06E-04	0.00E+00	1.23E-01	1.68	644	1.5963	5.63E-05	0.00E+00	7.29E-02	0.328
570	1.8170	3.95E-04	0.00E+00	1.25E-01	1.9	645	1.6200	1.33E-04	0.00E+00	7.16E-02	0.327
571	1.7441	6.40E-05	0.00E+00	1.26E-01	1.94	646	1.6159	7.13E-04	0.00E+00	7.03E-02	0.326
572	1.8649	3.01E-04	0.00E+00	1.27E-01	1.75	647	1.5812	1.95E-03	0.00E+00	6.91E-02	0.325
573	1.8449	2.24E-04	0.00E+00	1.28E-01	1.42	648	1.5619	3.21E-03	0.00E+00	6.79E-02	0.324
574	1.8773	1.82E-04	0.00E+00	1.28E-01	1.15	649	1.5600	2.64E-03	0.00E+00	6.69E-02	0.323
575	1.8130	1.98E-04	0.00E+00	1.28E-01	0.95	650	1.5189	9.60E-04	0.00E+00	6.57E-02	0.322
576	1.7948	1.38E-04	0.00E+00	1.27E-01	0.8	651	1.5944	5.85E-04	0.00E+00	6.47E-02	0.317
577	1.8453	1.03E-04	0.00E+00	1.26E-01	0.8	652	1.595	3.52E-03	0.00E+00	6.36E-02	0.312
578	1.7619	3.63E-05	0.00E+00	1.25E-01	0.99	653	1.6077	6.57E-04	0.00E+00	6.25E-02	0.307
579	1.8634	1.39E-05	0.00E+00	1.24E-01	1.1	654	1.5962	5.71E-04	0.00E+00	6.14E-02	0.302
580	1.8369	9.45E-06	0.00E+00	1.23E-01	1.02	655	1.4982	1.48E-03	0.00E+00	6.03E-02	0.297
581	1.8292	5.66E-06	0.00E+00	1.22E-01	0.85	656	1.3960	9.80E-04	0.00E+00	5.92E-02	0.292
582	1.8632	9.29E-06	0.00E+00	1.21E-01	0.78	657	1.4362	9.52E-04	0.00E+00	5.81E-02	0.287
583	1.8502	9.21E-06	0.00E+00	1.20E-01	0.82	658	1.5382	4.90E-04	0.00E+00	5.70E-02	0.282
584	1.8741	2.06E-05	0.00E+00	1.19E-01	1	659	1.5509	2.81E-04	0.00E+00	5.60E-02	0.277
585	1.8252	3.15E-05	0.00E+00	1.18E-01	1.15	660	1.5576	2.16E-04	0.00E+00	5.50E-02	0.272
586	1.7757	8.46E-05	0.00E+00	1.18E-01	1.13	661	1.5702	5.96E-05	0.00E+00	5.40E-02	0.267
587	1.8393	2.94E-04	0.00E+00	1.18E-01	1.01	662	1.5664	1.35E-05	0.00E+00	5.31E-02	0.262
588	1.8024	1.62E-03	0.00E+00	1.18E-01	0.93	663	1.5700	2.45E-05	0.00E+00	5.21E-02	0.257
589	1.6172	5.64E-03	0.00E+00	1.18E-01	1	664	1.5661	1.33E-05	0.00E+00	5.11E-02	0.252
590	1.7497	5.39E-03	0.00E+00	1.19E-01	1.04	665	1.5728	8.72E-06	0.00E+00	5.00E-02	0.247
591	1.8083	3.09E-03	0.00E+00	1.20E-01	1.28	666	1.5674	4.91E-06	0.00E+00	4.89E-02	0.242
592	1.8002	4.72E-03	0.00E+00	1.21E-01	1.38	667	1.5591	3.81E-06	0.00E+00	4.77E-02	0.237
593	1.8331	2.69E-03	0.00E+00	1.23E-01	1.21	668	1.5642	0.00E+00	0.00E+00	4.66E-02	0.232
594	1.7942	3.13E-03	0.00E+00	1.25E-01	0.92	669	1.5589	2.16E-07	0.00E+00	4.55E-02	0.227
595	1.7812	4.27E-03	0.00E+00	1.28E-01	0.72	670	1.5610	0.00E+00	0.00E+00	4.45E-02	0.222
596	1.7898	1.56E-03	0.00E+00	1.30E-01	0.67	671	1.5394	0.00E+00	0.00E+00	4.34E-02	0.217
597	1.7968	1.79E-03	0.00E+00	1.33E-01	0.66	672	1.5061	0.00E+00	0.00E+00	4.24E-02	0.212
598	1.8060	1.20E-03	0.00E+00	1.35E-01	0.68	673	1.5157	0.00E+00	0.00E+00	4.13E-02	0.207
599	1.7855	8.20E-04	0.00E+00	1.37E-01	0.79	674	1.5150	0.00E+00	0.00E+00	4.04E-02	0.202
600	1.7762	3.47E-04	0.00E+00	1.38E-01	0.83	675	1.5150	0.00E+00	0.00E+00	3.96E-02	0.201
601	1.7435	1.01E-04	0.00E+00	1.39E-01	0.8	676	1.5140	0.00E+00	0.00E+00	3.87E-02	0.198
602	1.7192	5.49E-05	0.00E+00	1.39E-01	0.68	677	1.5110	0.00E+00	0.00E+00	3.78E-02	0.195
603	1.7809	1.35E-05	0.00E+00	1.39E-01	0.49	678	1.5070	0.00E+00	0.00E+00	3.70E-02	0.192
604	1.7734	3.29E-06	0.00E+00	1.39E-01	0.39	679	1.5040	0.00E+00	0.00E+00	3.62E-02	0.189
605	1.7750	0.00E+00	0.00E+00	1.37E-01	0.378	680	1.5010	1.97E-07	0.00E+00	3.56E-02	0.186
606	1.7640	0.00E+00	0.00E+00	1.36E-01	0.375	681	1.4980	1.81E-06	0.00E+00	3.50E-02	0.183
607	1.7620	0.00E+00	0.00E+00	1.34E-01	0.395	682	1.4940	4.42E-06	0.00E+00	3.44E-02	0.18
608	1.7610	0.00E+00	0.00E+00	1.32E-01	0.413	683	1.4910	5.44E-06	0.00E+00	3.39E-02	0.177
609	1.7239	0.00E+00	0.00E+00	1.30E-01	0.419	684	1.4880	1.33E-05	0.00E+00	3.34E-02	0.174
610	1.7520	0.00E+00	0.00E+00	1.27E-01	0.47	685	1.4850	7.70E-06	0.00E+00	3.28E-02	0.171
611	1.7296	0.00E+00	0.00E+00	1.25E-01	0.67	686	1.4783	1.32E-05	7.51E-08	3.21E-02	0.168
612	1.7025	0.00E+00	0.00E+00	1.22E-01	0.835	687	1.4414	3.55E-05	1.43E-02	3.14E-02	0.165
613	1.7223	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-01	0.75	688	1.4220	7.56E-06	7.07E-03	3.05E-02	0.162
614	1.6523	0.00E+00	0.00E+00	1.18E-01	0.66	689	1.4430	1.45E-05	5.68E-03	2.97E-02	0.159
615	1.7196	0.00E+00	0.00E+00	1.16E-01	0.66	690	1.4740	3.07E-05	3.86E-03	2.88E-02	0.156
616	1.6232	0.00E+00	0.00E+00	1.14E-01	0.741	691	1.4719	1.20E-04	2.02E-03	2.80E-02	0.153
617	1.6366	0.00E+00	0.00E+00	1.12E-01	0.68	692	1.4612	7.34E-04	6.80E-04	2.72E-02	0.15
618	1.7068	0.00E+00	0.00E+00	1.11E-01	0.54	693	1.4610	3.79E-03	1.94E-04	2.65E-02	0.147
619	1.6832	0.00E+00	0.00E+00	1.09E-01	0.56	694	1.4600	7.05E-03	4.00E-05	2.58E-02	0.144
620	1.7050	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-01	0.589	695	1.4590	4.75E-03	1.98E-06	2.50E-02	0.141
621	1.7162	0.00E+00	0.00E+00	1.07E-01	0.52	696	1.4500	5.54E-03	4.28E-07	2.43E-02	0.138
622	1.7006	0.00E+00	0.00E+00	1.05E-01	0.495	697	1.4410	8.79E-04	1.07E-08	2.36E-02	0.135
623	1.6628	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-01	0.472	698	1.4320	9.06E-04	0.00E+00	2.30E-02	0.132
624	1.6236	0.00E+00	0.00E+00	1.03E-01	0.45	699	1.4230	3.60E-03	0.00E+00	2.24E-02	0.129
625	1.6353	9.42E-07	0.00E+00	1.01E-01	0.432	700	1.4140	3.87E-03	0.00E+00	2.18E-02	0.126
626	1.7009	1.51E-05	0.00E+00	1.00E-01	0.42	701	1.4300	4.32E-03	0.00E+00	2.13E-02	0
627	1.6982	1.29E-04	0.00E+00	9.87E-02	0.416	702	1.4375	3.21E-03	0.00E+00	2.09E-02	0
628	1.6607	3.36E-04	4.53E-04	9.73E-02	0.395	703	1.4369	3.91E-03	0.00E+00	2.05E-02	0
629	1.6580	2.30E-04	6.06E-05	9.58E-02	0.387	704	1.4348	2.00E-03	0.00E+00	2.01E-02	0
630	1.6444	9.55E-05	1.08E-04	9.43E-02	0.379	705	1.4258	2.16E-03	0.00E+00	1.97E-02	0
631	1.6276	2.28E-05	2.27E-05	9.29E-02	0.371	706	1.4139	1.77E-03	0.00E+00	1.94E-02	0
632	1.6706	2.63E-04	6.17E-06	9.15E-02	0.362	707	1.4035	1.41E-03	0.00E+00	1.91E-02	0
633	1.6648	1.25E-04	8.78E-07	9.00E-02	0.355	708	1.3987	1.42E-03	0.00E+00	1.89E-02	0
634	1.6340	6.27E-05	7.51E-08	8.84E-02	0.35	709	1.4051	6.94E-04	0.00E+00	1.86E-02	0
635	1.6236	8.93E-05	1.07E-08	8.68E-02	0.347	710	1.4129	1.02E-03	0.00E+00	1.84E-02	0
636	1.6257	6.20E-05	0.00E+00	8.53E-02	0.344	711	1.4109	7.85E-04	0.00E+00	1.82E-02	0
637	1.6606	6.48E-05	0.00E+00	8.36E-02	0.341	712	1.4034	4.94E-04	0.00E+00	1.80E-02	0
638	1.6550	1.97E-05	0.00E+00	8.20E-02	0.338	713	1.3944	8.01E-04	0.00E+00	1.79E-02	0

714	1.3855	7.57E-04	0.00E+00	1.78E-02	0	789	1.1750	1.09E-03	0.00E+00	5.57E-03	0
715	1.3780	1.80E-03	0.00E+00	1.77E-02	0	790	1.1670	2.34E-03	0.00E+00	5.37E-03	0
716	1.3706	2.20E-03	0.00E+00	1.75E-02	0	791	1.1590	1.17E-03	0.00E+00	5.16E-03	0
717	1.3645	2.03E-02	0.00E+00	1.71E-02	0	792	1.1580	1.04E-03	0.00E+00	4.93E-03	0
718	1.3571	3.55E-02	0.00E+00	1.67E-02	0	793	1.1570	1.21E-03	0.00E+00	4.74E-03	0
719	1.3455	6.52E-02	0.00E+00	1.61E-02	0	794	1.1560	8.13E-05	0.00E+00	4.55E-03	0
720	1.3395	4.68E-02	0.00E+00	1.56E-02	0	795	1.1550	2.69E-04	0.00E+00	4.39E-03	0
721	1.3473	2.29E-02	0.00E+00	1.50E-02	0	796	1.1540	2.03E-03	0.00E+00	4.29E-03	0
722	1.3592	3.76E-03	0.00E+00	1.45E-02	0	797	1.1530	1.74E-03	0.00E+00	4.22E-03	0
723	1.3655	1.23E-02	0.00E+00	1.41E-02	0	798	1.1440	4.10E-04	0.00E+00	4.17E-03	0
724	1.3678	3.78E-02	0.00E+00	1.37E-02	0	799	1.1360	6.68E-04	0.00E+00	4.09E-03	0
725	1.3645	3.03E-02	0.00E+00	1.33E-02	0	800	1.1390	1.16E-03	0.00E+00	4.00E-03	0
726	1.3558	2.19E-02	0.00E+00	1.30E-02	0	801	1.1430	1.43E-03	0.00E+00	3.97E-03	0
727	1.3444	2.29E-02	0.00E+00	1.27E-02	0	802	1.1360	1.25E-03	0.00E+00	3.96E-03	0
728	1.3357	2.99E-02	0.00E+00	1.23E-02	0	803	1.1300	1.57E-03	0.00E+00	3.95E-03	0
729	1.3325	2.02E-02	0.00E+00	1.19E-02	0	804	1.1230	1.32E-03	0.00E+00	3.96E-03	0
730	1.3320	1.39E-02	0.00E+00	1.16E-02	0	805	1.1160	7.69E-04	0.00E+00	4.02E-03	0
731	1.3302	1.84E-02	0.00E+00	1.14E-02	0	806	1.1180	2.75E-04	0.00E+00	4.10E-03	0
732	1.3270	1.00E-02	0.00E+00	1.12E-02	0	807	1.1210	3.92E-04	0.00E+00	4.22E-03	0
733	1.3252	3.66E-03	0.00E+00	1.10E-02	0	808	1.1160	3.15E-04	0.00E+00	4.40E-03	0
734	1.3248	3.22E-03	0.00E+00	1.09E-02	0	809	1.1100	7.23E-04	0.00E+00	4.61E-03	0
735	1.3270	2.86E-03	0.00E+00	1.08E-02	0	810	1.1050	1.36E-03	0.00E+00	4.82E-03	0
736	1.3252	3.81E-03	0.00E+00	1.08E-02	0	811	1.1030	1.59E-03	0.00E+00	5.01E-03	0
737	1.3140	2.94E-03	0.00E+00	1.07E-02	0	812	1.1010	3.76E-03	0.00E+00	5.21E-03	0
738	1.3001	1.46E-03	0.00E+00	1.06E-02	0	813	1.1100	6.09E-03	0.00E+00	5.40E-03	0
739	1.2903	1.52E-03	0.00E+00	1.07E-02	0	814	1.1200	1.88E-02	0.00E+00	5.56E-03	0
740	1.2832	8.61E-04	0.00E+00	1.07E-02	0	815	1.1050	2.07E-02	0.00E+00	5.68E-03	0
741	1.2761	4.72E-04	0.00E+00	1.08E-02	0	816	1.0900	3.63E-02	0.00E+00	5.73E-03	0
742	1.2717	2.11E-04	0.00E+00	1.09E-02	0	817	1.0880	3.71E-02	0.00E+00	5.71E-03	0
743	1.2713	1.55E-04	0.00E+00	1.11E-02	0	818	1.0860	3.91E-02	0.00E+00	5.61E-03	0
744	1.2723	5.79E-05	0.00E+00	1.12E-02	0	819	1.0820	2.01E-02	0.00E+00	5.45E-03	0
745	1.2732	1.21E-05	0.00E+00	1.14E-02	0	820	1.0790	2.52E-02	0.00E+00	5.23E-03	0
746	1.2755	1.08E-05	0.00E+00	1.15E-02	0	821	1.0710	3.12E-03	0.00E+00	4.94E-03	0
747	1.2778	4.62E-06	0.00E+00	1.15E-02	0	822	1.0630	6.34E-03	0.00E+00	4.61E-03	0
748	1.2787	2.34E-06	0.00E+00	1.13E-02	0	823	1.0720	9.27E-02	0.00E+00	4.28E-03	0
749	1.2783	1.19E-06	0.00E+00	1.11E-02	0	824	1.0820	1.17E-02	0.00E+00	3.95E-03	0
750	1.2740	7.33E-07	0.00E+00	1.06E-02	0	825	1.0800	5.09E-03	0.00E+00	3.65E-03	0
751	1.2683	1.18E-06	0.00E+00	1.01E-02	0	826	1.0780	1.15E-02	0.00E+00	3.37E-03	0
752	1.2653	3.69E-07	0.00E+00	9.54E-03	0	827	1.0740	4.50E-03	0.00E+00	3.10E-03	0
753	1.2650	1.16E-07	0.00E+00	8.99E-03	0	828	1.0700	2.80E-02	0.00E+00	2.88E-03	0
754	1.2646	3.65E-07	0.00E+00	8.47E-03	0	829	1.0565	1.22E-02	0.00E+00	2.69E-03	0
755	1.2629	1.57E-06	0.00E+00	8.03E-03	0	830	1.0430	1.06E-02	0.00E+00	2.53E-03	0
756	1.2613	9.31E-09	0.00E+00	7.63E-03	0	831	1.0500	9.80E-03	0.00E+00	2.38E-03	0
757	1.2570	0.00E+00	0.00E+00	7.31E-03	0	832	1.0570	1.46E-02	0.00E+00	2.28E-03	0
758	1.2501	0.00E+00	1.07E-08	7.05E-03	0	833	1.0475	3.37E-03	0.00E+00	2.19E-03	0
759	1.2432	0.00E+00	5.97E-05	6.85E-03	0	834	1.0380	6.28E-03	0.00E+00	2.11E-03	0
760	1.2389	0.00E+00	1.97E-01	6.67E-03	0	835	1.0335	1.07E-03	0.00E+00	2.07E-03	0
761	1.2386	0.00E+00	3.38E-01	6.54E-03	0	836	1.0290	3.58E-03	0.00E+00	2.04E-03	0
762	1.2370	0.00E+00	3.97E-02	6.69E-03	0	837	1.0385	1.02E-03	0.00E+00	2.02E-03	0
763	1.2315	0.00E+00	1.31E-01	7.02E-03	0	838	1.0480	1.51E-03	0.00E+00	2.00E-03	0
764	1.2246	0.00E+00	7.30E-02	6.94E-03	0	839	1.0375	7.70E-04	0.00E+00	2.00E-03	0
765	1.2205	0.00E+00	3.77E-02	6.86E-03	0	840	1.0270	5.08E-04	0.00E+00	2.01E-03	0
766	1.2176	0.00E+00	1.54E-02	6.78E-03	0	841	1.0285	8.81E-04	0.00E+00	2.03E-03	0
767	1.2121	0.00E+00	5.11E-03	6.70E-03	0	842	1.030	4.69E-04	0.00E+00	2.07E-03	0
768	1.2053	0.00E+00	9.81E-04	6.73E-03	0	843	1.015	1.44E-04	0.00E+00	2.12E-03	0
769	1.2020	0.00E+00	4.19E-04	6.75E-03	0	844	1.000	3.37E-04	0.00E+00	2.19E-03	0
770	1.2040	0.00E+00	8.48E-05	6.77E-03	0	845	1.005	9.55E-05	0.00E+00	2.29E-03	0
771	1.2050	0.00E+00	1.40E-05	6.90E-03	0	846	1.010	6.46E-05	0.00E+00	2.42E-03	0
772	1.2070	0.00E+00	4.20E-06	7.06E-03	0	847	1.011	8.30E-06	0.00E+00	2.57E-03	0
773	1.2090	5.29E-08	2.37E-06	7.25E-03	0	848	1.012	8.08E-05	0.00E+00	2.75E-03	0
774	1.1990	8.53E-08	8.78E-07	7.52E-03	0	849	0.994	8.10E-05	0.00E+00	2.97E-03	0
775	1.1890	8.49E-08	2.57E-07	7.85E-03	0	850	0.976	7.72E-05	0.00E+00	3.22E-03	0
776	1.1930	8.44E-08	3.66E-08	8.13E-03	0	851	0.971	1.52E-04	0.00E+00	3.46E-03	0
777	1.1970	5.18E-08	1.07E-08	8.31E-03	0	852	0.966	1.57E-04	0.00E+00	3.67E-03	0
778	1.1920	3.56E-07	0.00E+00	8.43E-03	0	853	0.921	3.11E-05	0.00E+00	3.79E-03	0
779	1.1900	4.62E-07	0.00E+00	8.47E-03	0	854	0.876	1.13E-04	0.00E+00	3.80E-03	0
780	1.1906	2.37E-07	0.00E+00	8.38E-03	0	855	0.912	1.81E-05	0.00E+00	3.73E-03	0
781	1.1891	2.31E-07	0.00E+00	8.15E-03	0	856	0.948	4.66E-05	0.00E+00	3.62E-03	0
782	1.1863	4.55E-07	0.00E+00	7.88E-03	0	857	0.971	1.20E-05	0.00E+00	3.49E-03	0
783	1.1861	4.53E-07	0.00E+00	7.50E-03	0	858	0.994	1.75E-05	0.00E+00	3.34E-03	0
784	1.1858	4.51E-07	0.00E+00	7.09E-03	0	859	0.981	7.29E-06	0.00E+00	3.16E-03	0
785	1.1843	1.40E-05	0.00E+00	6.67E-03	0	860	0.968	1.55E-07	0.00E+00	2.93E-03	0
786	1.1815	3.14E-05	0.00E+00	6.34E-03	0	861	0.9765	2.21E-06	0.00E+00	2.69E-03	0
787	1.1780	3.48E-04	0.00E+00	6.09E-03	0	862	0.985	3.54E-08	3.66E-08	2.47E-03	0
788	1.1760	6.03E-04	0.00E+00	5.83E-03	0	863	0.953	2.18E-07	7.51E-08	2.27E-03	0

864	0.921	3.49E-07	1.07E-08	2.08E-03	0	939	0.8245	2.70E-01	0.00E+00	6.91E-04	0
865	0.904	3.50E-08	1.07E-08	1.89E-03	0	940	0.821	1.67E-01	0.00E+00	7.80E-04	0
866	0.887	3.49E-08	3.66E-08	1.73E-03	0	941	0.8135	2.59E-01	0.00E+00	8.79E-04	0
867	0.9245	3.47E-08	3.66E-08	1.60E-03	0	942	0.806	2.15E-01	0.00E+00	9.73E-04	0
868	0.962	8.37E-08	1.07E-08	1.49E-03	0	943	0.814	5.55E-01	0.00E+00	1.05E-03	0
869	0.961	3.45E-08	1.07E-08	1.40E-03	0	944	0.822	6.33E-01	0.00E+00	1.09E-03	0
870	0.96	3.43E-08	0.00E+00	1.33E-03	0	945	0.8195	2.78E-01	0.00E+00	1.08E-03	0
871	0.9565	2.21E-07	0.00E+00	1.27E-03	0	946	0.817	8.44E-01	0.00E+00	1.03E-03	0
872	0.953	5.61E-08	0.00E+00	1.20E-03	0	947	0.809	3.00E-01	0.00E+00	9.39E-04	0
873	0.9545	5.59E-08	0.00E+00	1.14E-03	0	948	0.801	4.73E-01	0.00E+00	8.41E-04	0
874	0.956	5.57E-08	0.00E+00	1.10E-03	0	949	0.802	1.48E-01	0.00E+00	7.38E-04	0
875	0.957	4.70E-07	0.00E+00	1.07E-03	0	950	0.803	9.85E-01	0.00E+00	6.53E-04	0
876	0.958	1.60E-06	0.00E+00	1.05E-03	0	951	0.7995	1.52E-01	0.00E+00	5.76E-04	0
877	0.946	4.51E-07	0.00E+00	1.04E-03	0	952	0.796	5.06E-01	0.00E+00	5.20E-04	0
878	0.934	4.79E-06	0.00E+00	1.03E-03	0	953	0.7905	2.95E-01	0.00E+00	4.54E-04	0
879	0.9345	3.64E-06	0.00E+00	1.04E-03	0	954	0.785	1.97E-01	0.00E+00	4.11E-04	0
880	0.935	2.74E-06	0.00E+00	1.06E-03	0	955	0.792	3.16E-01	0.00E+00	4.04E-04	0
881	0.929	2.03E-05	0.00E+00	1.07E-03	0	956	0.799	2.83E-01	0.00E+00	3.86E-04	0
882	0.923	3.38E-05	0.00E+00	1.10E-03	0	957	0.7975	4.03E-01	0.00E+00	3.67E-04	0
883	0.93	1.33E-05	0.00E+00	1.14E-03	0	958	0.796	1.52E-01	0.00E+00	3.42E-04	0
884	0.937	2.18E-05	0.00E+00	1.18E-03	0	959	0.794	2.59E-01	0.00E+00	3.12E-04	0
885	0.9295	1.52E-05	0.00E+00	1.23E-03	0	960	0.792	1.75E-01	0.00E+00	2.86E-04	0
886	0.922	1.76E-04	0.00E+00	1.28E-03	0	961	0.7915	1.32E-01	0.00E+00	2.66E-04	0
887	0.923	5.11E-05	0.00E+00	1.31E-03	0	962	0.791	1.37E-01	0.00E+00	2.51E-04	0
888	0.924	1.86E-04	0.00E+00	1.34E-03	0	963	0.7895	9.46E-02	0.00E+00	2.39E-04	0
889	0.922	1.14E-05	0.00E+00	1.35E-03	0	964	0.788	1.34E-01	0.00E+00	2.31E-04	0
890	0.92	2.02E-04	0.00E+00	1.35E-03	0	965	0.784	9.60E-02	0.00E+00	2.23E-04	0
891	0.9155	8.93E-05	0.00E+00	1.34E-03	0	966	0.78	7.35E-02	0.00E+00	2.12E-04	0
892	0.911	4.38E-04	0.00E+00	1.34E-03	0	967	0.789	8.71E-02	0.00E+00	1.92E-04	0
893	0.9125	1.48E-03	0.00E+00	1.37E-03	0	968	0.798	1.65E-02	0.00E+00	1.75E-04	0
894	0.914	3.37E-03	0.00E+00	1.43E-03	0	969	0.7905	1.20E-02	0.00E+00	1.63E-04	0
895	0.9165	8.76E-03	0.00E+00	1.50E-03	0	970	0.783	2.27E-02	0.00E+00	1.47E-04	0
896	0.919	2.06E-02	0.00E+00	1.58E-03	0	971	0.783	7.08E-03	0.00E+00	1.35E-04	0
897	0.9065	4.68E-02	0.00E+00	1.64E-03	0	972	0.783	1.32E-02	0.00E+00	1.25E-04	0
898	0.894	3.58E-02	0.00E+00	1.66E-03	0	973	0.775	2.77E-02	0.00E+00	1.17E-04	0
899	0.8915	1.07E-01	0.00E+00	1.65E-03	0	974	0.767	4.03E-02	0.00E+00	1.13E-04	0
900	0.889	3.29E-02	0.00E+00	1.60E-03	0	975	0.775	4.12E-02	0.00E+00	1.08E-04	0
901	0.89	6.65E-02	0.00E+00	1.53E-03	0	976	0.783	4.57E-02	0.00E+00	1.06E-04	0
902	0.891	4.97E-02	0.00E+00	1.45E-03	0	977	0.782	1.79E-02	0.00E+00	1.03E-04	0
903	0.886	4.38E-02	0.00E+00	1.36E-03	0	978	0.781	2.61E-02	0.00E+00	1.02E-04	0
904	0.881	7.32E-03	0.00E+00	1.28E-03	0	979	0.7765	1.68E-02	0.00E+00	1.00E-04	0
905	0.881	8.47E-03	0.00E+00	1.18E-03	0	980	0.772	2.81E-02	0.00E+00	9.96E-05	0
906	0.881	1.32E-02	0.00E+00	1.08E-03	0	981	0.773	4.36E-03	0.00E+00	1.03E-04	0
907	0.8675	6.50E-02	0.00E+00	9.87E-04	0	982	0.774	7.40E-03	0.00E+00	1.09E-04	0
908	0.854	5.03E-02	0.00E+00	9.18E-04	0	983	0.775	1.11E-02	0.00E+00	1.18E-04	0
909	0.8595	2.93E-02	0.00E+00	8.51E-04	0	984	0.776	1.95E-03	0.00E+00	1.35E-04	0
910	0.865	5.23E-02	0.00E+00	7.85E-04	0	985	0.767	6.71E-03	0.00E+00	1.60E-04	0
911	0.869	4.08E-02	0.00E+00	7.22E-04	0	986	0.758	5.00E-04	0.00E+00	1.94E-04	0
912	0.873	3.60E-02	0.00E+00	6.69E-04	0	987	0.7625	1.18E-03	0.00E+00	2.35E-04	0
913	0.869	5.61E-02	0.00E+00	6.25E-04	0	988	0.767	8.84E-04	0.00E+00	2.81E-04	0
914	0.865	6.49E-02	0.00E+00	5.77E-04	0	989	0.765	9.85E-05	0.00E+00	3.39E-04	0
915	0.8625	3.59E-02	0.00E+00	5.42E-04	0	990	0.763	9.78E-04	0.00E+00	4.98E-04	0
916	0.86	9.20E-02	0.00E+00	5.22E-04	0	991	0.7585	1.42E-04	0.00E+00	7.88E-04	0
917	0.8605	2.14E-02	0.00E+00	5.01E-04	0	992	0.754	8.64E-05	0.00E+00	7.35E-04	0
918	0.861	6.60E-02	0.00E+00	4.82E-04	0	993	0.755	5.26E-04	0.00E+00	5.99E-04	0
919	0.848	2.06E-02	0.00E+00	4.67E-04	0	994	0.756	4.45E-05	0.00E+00	5.89E-04	0
920	0.835	1.51E-02	0.00E+00	4.53E-04	0	995	0.7495	1.49E-05	0.00E+00	5.58E-04	0
921	0.8315	7.47E-03	0.00E+00	4.46E-04	0	996	0.743	5.82E-05	0.00E+00	4.59E-04	0
922	0.828	1.98E-02	0.00E+00	4.43E-04	0	997	0.743	3.32E-05	0.00E+00	3.67E-04	0
923	0.831	8.24E-03	0.00E+00	4.39E-04	0	998	0.743	4.32E-05	0.00E+00	3.06E-04	0
924	0.834	1.86E-02	0.00E+00	4.37E-04	0	999	0.742	3.95E-05	0.00E+00	2.53E-04	0
925	0.8365	2.19E-02	0.00E+00	4.40E-04	0	1000	0.741	1.23E-04	0.00E+00	2.06E-04	0
926	0.839	1.78E-02	0.00E+00	4.42E-04	0	1001	0.7378	2.53E-05	0.00E+00	1.93E-04	0
927	0.842	9.63E-03	0.00E+00	4.41E-04	0	1002	0.7346	6.45E-04	0.00E+00	1.63E-04	0
928	0.845	6.34E-02	0.00E+00	4.38E-04	0	1003	0.7314	4.00E-05	0.00E+00	1.49E-04	0
929	0.8425	8.74E-02	0.00E+00	4.41E-04	0	1004	0.7282	1.48E-04	0.00E+00	1.38E-04	0
930	0.84	1.91E-01	0.00E+00	4.43E-04	0	1005	0.725	1.25E-05	0.00E+00	1.14E-04	0
931	0.844	2.44E-01	0.00E+00	4.48E-04	0	1006	0.7246	7.62E-05	0.00E+00	1.17E-04	0
932	0.848	5.04E-01	0.00E+00	4.46E-04	0	1007	0.7242	3.55E-05	0.00E+00	1.01E-04	0
933	0.8415	6.11E-01	0.00E+00	4.37E-04	0	1008	0.7238	1.08E-04	0.00E+00	9.07E-05	0
934	0.835	1.21E+00	0.00E+00	4.40E-04	0	1009	0.7234	2.16E-04	0.00E+00	9.21E-05	0
935	0.8275	7.26E-01	0.00E+00	4.59E-04	0	1010	0.723	3.04E-04	0.00E+00	8.02E-05	0
936	0.82	1.16E+00	0.00E+00	4.93E-04	0	1011	0.7228	2.73E-05	0.00E+00	7.31E-05	0
937	0.824	1.00E+00	0.00E+00	5.45E-04	0	1012	0.7226	9.85E-05	0.00E+00	7.41E-05	0
938	0.828	8.21E-01	0.00E+00	6.15E-04	0	1013	0.7224	1.51E-05	0.00E+00	6.86E-05	0

1014	0.7222	1.41E-05	0.00E+00	6.30E-05	0	1089	0.6124	2.19E-03	0.00E+00	1.72E-05	0
1015	0.722	2.24E-05	0.00E+00	6.02E-05	0	1090	0.612	4.00E-03	0.00E+00	1.28E-05	0
1016	0.7208	2.59E-05	0.00E+00	6.02E-05	0	1091	0.6094	1.06E-03	0.00E+00	1.01E-05	0
1017	0.7196	3.23E-05	0.00E+00	5.59E-05	0	1092	0.6068	9.01E-04	0.00E+00	0.00E+00	0
1018	0.7184	7.50E-06	0.00E+00	5.16E-05	0	1093	0.6042	1.06E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1019	0.7172	1.38E-04	0.00E+00	5.09E-05	0	1094	0.6016	1.61E-03	0.00E+00	0.00E+00	0
1020	0.716	1.79E-05	0.00E+00	4.91E-05	0	1095	0.599	7.02E-03	0.00E+00	0.00E+00	0
1021	0.7178	4.90E-06	0.00E+00	4.42E-05	0	1096	0.6008	1.25E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1022	0.7196	3.21E-05	0.00E+00	4.07E-05	0	1097	0.6026	6.31E-04	0.00E+00	0.00E+00	0
1023	0.7214	4.19E-05	0.00E+00	3.92E-05	0	1098	0.6044	1.20E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1024	0.7232	2.29E-04	0.00E+00	3.88E-05	0	1099	0.6062	1.01E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1025	0.725	7.42E-06	0.00E+00	3.71E-05	0	1100	0.608	2.23E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1026	0.72	2.21E-05	0.00E+00	3.59E-05	0	1101	0.6066	1.74E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1027	0.715	2.09E-05	0.00E+00	3.61E-05	0	1102	0.6052	2.32E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1028	0.71	2.43E-05	0.00E+00	3.77E-05	0	1103	0.6038	2.65E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1029	0.705	2.92E-05	0.00E+00	3.78E-05	0	1104	0.6024	2.48E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1030	0.7	2.34E-06	0.00E+00	3.81E-05	0	1105	0.601	1.62E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1031	0.699	9.56E-06	0.00E+00	3.81E-05	0	1106	0.6012	6.10E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1032	0.698	1.93E-06	0.00E+00	3.89E-05	0	1107	0.6014	1.90E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1033	0.697	2.33E-06	0.00E+00	4.01E-05	0	1108	0.6016	5.22E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1034	0.696	6.74E-07	0.00E+00	4.23E-05	0	1109	0.6018	5.34E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1035	0.695	1.31E-07	0.00E+00	4.52E-05	0	1110	0.602	2.07E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1036	0.6918	1.56E-06	0.00E+00	4.75E-05	0	1111	0.5992	1.55E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1037	0.6886	1.31E-07	2.19E-06	5.05E-05	0	1112	0.5964	5.91E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1038	0.6854	1.30E-07	3.09E-07	5.25E-05	0	1113	0.5936	2.55E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1039	0.6822	4.49E-07	8.23E-07	5.59E-05	0	1114	0.5908	1.96E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1040	0.679	1.30E-07	8.23E-07	6.13E-05	0	1115	0.588	3.85E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1041	0.6804	4.47E-07	3.09E-07	6.73E-05	0	1116	0.586	4.64E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1042	0.6818	1.29E-07	0.00E+00	7.39E-05	0	1117	0.584	1.45E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1043	0.6832	1.29E-07	0.00E+00	8.39E-05	0	1118	0.582	5.11E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1044	0.6846	1.29E-07	0.00E+00	1.02E-04	0	1119	0.58	1.06E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1045	0.686	1.29E-07	0.00E+00	1.44E-04	0	1120	0.578	7.94E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1046	0.6824	1.28E-07	0.00E+00	1.88E-04	0	1121	0.576	7.03E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1047	0.6788	1.28E-07	0.00E+00	1.56E-04	0	1122	0.574	1.70E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1048	0.6752	1.28E-07	0.00E+00	1.38E-04	0	1123	0.572	1.30E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1049	0.6716	1.28E-07	4.84E-06	1.39E-04	0	1124	0.57	1.47E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1050	0.668	1.27E-07	6.91E-06	1.34E-04	0	1125	0.568	9.31E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1051	0.6662	1.27E-07	8.23E-07	1.18E-04	0	1126	0.5674	2.25E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1052	0.6644	1.27E-07	3.01E-06	9.58E-05	0	1127	0.5668	7.11E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1053	0.6626	1.27E-07	2.19E-06	8.42E-05	0	1128	0.5662	1.30E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1054	0.6608	1.26E-07	8.23E-07	7.32E-05	0	1129	0.5656	1.23E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1055	0.659	4.36E-07	3.09E-07	7.02E-05	0	1130	0.565	1.64E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1056	0.6572	6.50E-07	0.00E+00	6.07E-05	0	1131	0.5644	1.66E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1057	0.6554	4.35E-07	0.00E+00	6.06E-05	0	1132	0.5638	3.15E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1058	0.6536	4.34E-07	0.00E+00	5.33E-05	0	1133	0.5632	8.06E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1059	0.6518	1.18E-06	3.09E-07	5.13E-05	0	1134	0.5626	2.93E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1060	0.65	4.33E-07	3.09E-07	4.98E-05	0	1135	0.562	5.83E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1061	0.6496	8.94E-07	3.09E-07	4.63E-05	0	1136	0.5608	1.03E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1062	0.6492	5.18E-06	3.09E-07	4.90E-05	0	1137	0.5596	1.71E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1063	0.6488	7.04E-06	2.19E-06	5.03E-05	0	1138	0.5584	4.05E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1064	0.6484	2.57E-07	5.85E-06	5.33E-05	0	1139	0.5572	2.13E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1065	0.648	2.67E-05	5.85E-06	6.20E-05	0	1140	0.556	2.64E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1066	0.6464	1.49E-06	6.91E-06	6.05E-05	0	1141	0.5556	5.22E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1067	0.6448	1.15E-05	2.19E-06	5.16E-05	0	1142	0.5552	4.18E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1068	0.6432	3.16E-05	2.14E-05	4.83E-05	0	1143	0.5548	1.26E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1069	0.6416	5.68E-05	3.89E-06	4.96E-05	0	1144	0.5544	1.23E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1070	0.64	1.89E-04	8.23E-07	4.54E-05	0	1145	0.554	7.73E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1071	0.6382	1.31E-05	8.23E-07	3.85E-05	0	1146	0.5518	7.76E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1072	0.6364	1.78E-04	1.46E-06	3.38E-05	0	1147	0.5496	2.03E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1073	0.6346	1.40E-04	8.23E-07	3.00E-05	0	1148	0.5474	2.31E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1074	0.6328	8.31E-06	3.09E-07	2.86E-05	0	1149	0.5452	4.60E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1075	0.631	1.08E-03	3.09E-07	2.85E-05	0	1150	0.543	9.44E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1076	0.629	6.50E-05	0.00E+00	2.57E-05	0	1151	0.5448	4.45E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1077	0.627	5.63E-04	0.00E+00	2.61E-05	0	1152	0.5466	3.55E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1078	0.625	8.58E-04	0.00E+00	2.34E-05	0	1153	0.5484	4.19E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1079	0.623	3.52E-05	0.00E+00	2.28E-05	0	1154	0.5502	6.20E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1080	0.621	1.59E-03	0.00E+00	2.05E-05	0	1155	0.552	1.56E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1081	0.6196	1.41E-03	0.00E+00	1.85E-05	0	1156	0.5492	2.33E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1082	0.6182	4.49E-04	0.00E+00	1.86E-05	0	1157	0.5464	1.34E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1083	0.6168	1.82E-04	0.00E+00	1.89E-05	0	1158	0.5436	1.66E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1084	0.6154	2.05E-03	0.00E+00	1.89E-05	0	1159	0.5408	1.23E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1085	0.614	8.82E-04	0.00E+00	1.87E-05	0	1160	0.538	1.64E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1086	0.6136	6.46E-03	0.00E+00	2.10E-05	0	1161	0.536	7.06E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1087	0.6132	1.59E-03	0.00E+00	2.00E-05	0	1162	0.534	7.16E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1088	0.6128	5.91E-04	0.00E+00	1.94E-05	0	1163	0.532	1.49E-02	0.00E+00	0.00E+00	0

1164	0.53	3.53E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1239	0.4664	2.03E-05	3.09E-07	0.00E+00	0
1165	0.528	4.92E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1240	0.466	4.91E-06	3.09E-07	0.00E+00	0
1166	0.5286	5.07E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1241	0.4634	1.09E-04	3.09E-07	0.00E+00	0
1167	0.5292	3.17E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1242	0.4608	7.21E-06	0.00E+00	0.00E+00	0
1168	0.5298	2.74E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1243	0.4582	3.01E-06	3.09E-07	0.00E+00	0
1169	0.5304	2.02E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1244	0.4556	2.02E-05	3.09E-07	0.00E+00	0
1170	0.531	1.15E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1245	0.453	3.44E-06	1.46E-06	0.00E+00	0
1171	0.5294	1.51E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1246	0.4546	3.00E-06	0.00E+00	0.00E+00	0
1172	0.5278	1.38E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1247	0.4562	7.19E-06	3.89E-06	0.00E+00	0
1173	0.5262	1.13E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1248	0.4578	3.12E-05	1.04E-05	0.00E+00	0
1174	0.5246	8.15E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1249	0.4594	3.89E-06	4.84E-06	0.00E+00	0
1175	0.523	1.03E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1250	0.461	5.42E-06	1.56E-05	0.00E+00	0
1176	0.5208	3.94E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1251	0.459	4.37E-06	5.92E-05	0.00E+00	0
1177	0.5186	6.91E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1252	0.457	9.14E-06	8.23E-07	0.00E+00	0
1178	0.5164	5.50E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1253	0.455	4.88E-06	1.09E-04	0.00E+00	0
1179	0.5142	7.72E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1254	0.453	3.87E-05	1.89E-04	0.00E+00	0
1180	0.512	1.46E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1255	0.451	1.63E-05	8.23E-07	0.00E+00	0
1181	0.5114	9.63E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1256	0.4472	9.12E-06	2.95E-04	0.00E+00	0
1182	0.5108	1.08E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1257	0.4434	5.96E-06	3.88E-04	0.00E+00	0
1183	0.5102	7.12E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1258	0.4396	2.64E-05	2.61E-05	0.00E+00	0
1184	0.5096	2.13E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1259	0.4358	6.53E-06	6.70E-04	0.00E+00	0
1185	0.509	2.92E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1260	0.432	2.53E-05	4.28E-04	0.00E+00	0
1186	0.5088	3.96E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1261	0.4308	2.52E-05	1.62E-03	0.00E+00	0
1187	0.5086	1.01E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1262	0.4296	7.76E-06	2.68E-03	0.00E+00	0
1188	0.5084	8.06E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1263	0.4284	3.72E-05	2.35E-03	0.00E+00	0
1189	0.5082	1.30E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1264	0.4272	3.59E-05	4.82E-03	0.00E+00	0
1190	0.508	4.82E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1265	0.426	1.20E-05	2.42E-03	0.00E+00	0
1191	0.506	1.16E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1266	0.4262	5.37E-06	3.68E-03	0.00E+00	0
1192	0.504	4.16E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1267	0.4264	5.12E-05	2.64E-03	0.00E+00	0
1193	0.502	8.74E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1268	0.4266	2.20E-05	4.23E-03	0.00E+00	0
1194	0.5	4.97E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1269	0.4268	1.80E-05	2.63E-02	0.00E+00	0
1195	0.498	9.11E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1270	0.427	1.28E-05	2.66E-03	0.00E+00	0
1196	0.4968	1.33E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1271	0.4298	9.11E-05	1.22E-03	0.00E+00	0
1197	0.4956	2.60E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1272	0.4326	5.42E-05	1.28E-03	0.00E+00	0
1198	0.4944	9.16E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1273	0.4354	4.11E-05	1.48E-03	0.00E+00	0
1199	0.4932	3.28E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1274	0.4382	9.89E-05	1.27E-03	0.00E+00	0
1200	0.492	7.12E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1275	0.441	1.71E-05	1.18E-03	0.00E+00	0
1201	0.4914	1.22E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1276	0.4376	6.37E-05	8.83E-04	0.00E+00	0
1202	0.4908	1.28E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1277	0.4342	3.63E-04	4.69E-04	0.00E+00	0
1203	0.4902	7.47E-03	6.12E-05	0.00E+00	0	1278	0.4308	1.20E-05	3.63E-04	0.00E+00	0
1204	0.4896	3.78E-02	9.30E-04	0.00E+00	0	1279	0.4274	2.12E-04	1.98E-04	0.00E+00	0
1205	0.489	8.89E-03	3.95E-04	0.00E+00	0	1280	0.424	2.57E-04	2.07E-04	0.00E+00	0
1206	0.488	1.09E-03	1.04E-04	0.00E+00	0	1281	0.4244	2.76E-04	6.75E-05	0.00E+00	0
1207	0.487	1.11E-02	2.56E-04	0.00E+00	0	1282	0.4248	3.19E-05	4.54E-05	0.00E+00	0
1208	0.486	7.38E-03	3.01E-04	0.00E+00	0	1283	0.4252	5.71E-05	6.96E-05	0.00E+00	0
1209	0.485	7.29E-03	1.58E-04	0.00E+00	0	1284	0.4256	2.86E-04	1.99E-05	0.00E+00	0
1210	0.484	4.18E-03	7.84E-05	0.00E+00	0	1285	0.426	1.81E-04	3.27E-05	0.00E+00	0
1211	0.486	8.19E-03	3.80E-05	0.00E+00	0	1286	0.427	1.20E-04	3.63E-07	0.00E+00	0
1212	0.488	1.19E-02	1.99E-05	0.00E+00	0	1287	0.428	4.80E-04	3.10E-05	0.00E+00	0
1213	0.49	1.86E-03	5.85E-06	0.00E+00	0	1288	0.429	5.76E-04	3.09E-07	0.00E+00	0
1214	0.492	8.35E-03	2.19E-06	0.00E+00	0	1289	0.43	1.91E-03	1.84E-05	0.00E+00	0
1215	0.494	9.73E-03	8.23E-07	0.00E+00	0	1290	0.431	4.63E-04	4.84E-06	0.00E+00	0
1216	0.4902	1.96E-03	3.09E-07	0.00E+00	0	1291	0.4302	2.11E-04	1.99E-05	0.00E+00	0
1217	0.4864	3.43E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1292	0.4294	2.55E-03	3.89E-06	0.00E+00	0
1218	0.4826	1.86E-03	1.45E-04	0.00E+00	0	1293	0.4286	1.01E-03	3.89E-06	0.00E+00	0
1219	0.4788	2.16E-03	5.31E-04	0.00E+00	0	1294	0.4278	1.39E-03	3.89E-06	0.00E+00	0
1220	0.475	2.41E-03	1.64E-04	0.00E+00	0	1295	0.427	1.62E-03	5.85E-06	0.00E+00	0
1221	0.4748	1.75E-03	5.71E-05	0.00E+00	0	1296	0.427	3.03E-03	3.89E-06	0.00E+00	0
1222	0.4746	2.56E-03	1.64E-04	0.00E+00	0	1297	0.427	6.18E-03	1.46E-06	0.00E+00	0
1223	0.4744	2.57E-03	1.69E-04	0.00E+00	0	1298	0.427	2.24E-03	8.23E-07	0.00E+00	0
1224	0.4742	2.89E-03	8.97E-05	0.00E+00	0	1299	0.427	6.45E-04	3.09E-07	0.00E+00	0
1225	0.474	1.44E-03	3.62E-05	0.00E+00	0	1300	0.427	1.21E-02	3.09E-07	0.00E+00	0
1226	0.4744	9.47E-04	2.45E-05	0.00E+00	0	1301	0.4252	8.44E-03	0.00E+00	0.00E+00	0
1227	0.4748	3.82E-03	1.84E-05	0.00E+00	0	1302	0.4234	2.22E-03	0.00E+00	0.00E+00	0
1228	0.4752	5.92E-04	9.18E-06	0.00E+00	0	1303	0.4216	1.65E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1229	0.4756	7.54E-04	2.19E-06	0.00E+00	0	1304	0.4198	3.67E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1230	0.476	1.28E-03	3.01E-06	0.00E+00	0	1305	0.418	3.88E-03	0.00E+00	0.00E+00	0
1231	0.4744	1.20E-04	3.01E-06	0.00E+00	0	1306	0.4162	3.33E-03	0.00E+00	0.00E+00	0
1232	0.4728	1.48E-04	2.19E-06	0.00E+00	0	1307	0.4144	3.53E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1233	0.4712	1.83E-03	1.46E-06	0.00E+00	0	1308	0.4126	1.67E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1234	0.4696	1.39E-05	3.01E-06	0.00E+00	0	1309	0.4108	3.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0
1235	0.468	9.84E-05	2.19E-06	0.00E+00	0	1310	0.409	4.03E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1236	0.4676	2.67E-05	3.09E-07	0.00E+00	0	1311	0.4084	1.95E-02	0.00E+00	0.00E+00	0
1237	0.4672	2.45E-04	8.23E-07	0.00E+00	0	1312	0.4078	1.59E-02	3.09E-07	0.00E+00	0
1238	0.4668	2.03E-05	8.23E-07	0.00E+00	0	1313	0.4072	2.26E-02	8.02E-06	0.00E+00	0

1314	0.4066	5.93E-02	3.98E-05	0.00E+00	0	1389	0.355	7.99E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1315	0.406	3.88E-02	5.31E-05	0.00E+00	0	1390	0.354	9.07E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1316	0.4062	1.61E-02	2.29E-05	0.00E+00	0	1391	0.3538	8.55E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1317	0.4064	3.32E-02	6.91E-06	0.00E+00	0	1392	0.3536	2.09E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1318	0.4066	1.38E-02	1.99E-05	0.00E+00	0	1393	0.3534	1.62E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1319	0.4068	6.69E-02	2.45E-05	0.00E+00	0	1394	0.3532	1.02E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1320	0.407	9.65E-02	2.14E-05	0.00E+00	0	1395	0.353	3.75E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1321	0.406	3.99E-02	1.42E-05	0.00E+00	0	1396	0.3522	5.20E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1322	0.405	3.05E-02	6.91E-06	0.00E+00	0	1397	0.3514	1.89E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1323	0.404	1.14E-01	2.19E-06	0.00E+00	0	1398	0.3506	5.14E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1324	0.403	7.62E-02	8.23E-07	0.00E+00	0	1399	0.3498	6.88E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1325	0.402	2.17E-02	3.09E-07	0.00E+00	0	1400	0.349	4.72E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1326	0.4008	4.76E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1401	0.3484	5.27E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1327	0.3996	6.52E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1402	0.3478	7.20E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1328	0.3984	1.11E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1403	0.3472	4.78E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1329	0.3972	2.24E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1404	0.3466	1.06E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1330	0.396	1.06E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1405	0.346	3.46E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1331	0.3952	3.08E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1406	0.3454	5.10E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1332	0.3944	4.19E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1407	0.3448	2.01E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1333	0.3936	1.51E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1408	0.3442	5.14E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1334	0.3928	2.83E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1409	0.3436	1.26E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1335	0.392	1.10E-01	3.09E-07	0.00E+00	0	1410	0.343	1.06E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1336	0.3916	2.63E-01	3.01E-06	0.00E+00	0	1411	0.3426	5.14E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1337	0.3912	2.63E-01	9.18E-06	0.00E+00	0	1412	0.3422	5.32E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1338	0.3908	2.25E-01	1.56E-05	0.00E+00	0	1413	0.3418	2.35E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1339	0.3904	2.10E-01	1.16E-05	0.00E+00	0	1414	0.3414	1.12E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1340	0.39	2.96E-01	2.19E-06	0.00E+00	0	1415	0.341	1.29E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1341	0.3894	2.72E-01	3.89E-06	0.00E+00	0	1416	0.3408	1.70E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1342	0.3888	2.05E-01	1.04E-05	0.00E+00	0	1417	0.3406	1.88E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1343	0.3882	3.95E-01	1.04E-05	0.00E+00	0	1418	0.3404	2.80E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1344	0.3876	1.02E+00	5.85E-06	0.00E+00	0	1419	0.3402	1.07E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1345	0.387	6.04E-01	3.89E-06	0.00E+00	0	1420	0.34	4.70E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1346	0.3856	1.18E+00	1.46E-06	0.00E+00	0	1421	0.341	3.21E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1347	0.3842	1.19E+00	8.23E-07	0.00E+00	0	1422	0.342	1.43E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1348	0.3828	4.46E+00	3.09E-07	0.00E+00	0	1423	0.343	3.51E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1349	0.3814	1.92E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1424	0.344	3.51E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1350	0.38	3.27E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1425	0.345	2.32E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1351	0.379	4.29E+00	3.09E-07	0.00E+00	0	1426	0.343	2.28E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1352	0.378	6.75E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1427	0.341	1.30E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1353	0.377	1.34E+01	3.09E-07	0.00E+00	0	1428	0.339	4.26E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1354	0.376	1.28E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1429	0.337	1.85E+00	3.09E-07	0.00E+00	0
1355	0.375	3.11E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1430	0.335	1.21E+00	5.85E-06	0.00E+00	0
1356	0.3744	1.66E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1431	0.3338	1.18E+00	2.54E-02	0.00E+00	0
1357	0.3738	1.57E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1432	0.3326	5.23E+00	3.50E-02	0.00E+00	0
1358	0.3732	2.98E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1433	0.3314	1.66E+00	1.72E-02	0.00E+00	0
1359	0.3726	3.65E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1434	0.3302	2.74E+00	3.65E-03	0.00E+00	0
1360	0.372	2.31E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1435	0.329	2.29E+00	6.83E-03	0.00E+00	0
1361	0.3704	6.07E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1436	0.3282	1.57E+00	1.02E-02	0.00E+00	0
1362	0.3688	1.49E+02	0.00E+00	0.00E+00	0	1437	0.3274	1.96E+00	8.68E-03	0.00E+00	0
1363	0.3672	2.55E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1438	0.3266	3.93E+00	6.57E-03	0.00E+00	0
1364	0.3656	2.67E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1439	0.3258	1.01E+00	8.52E-03	0.00E+00	0
1365	0.364	9.13E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1440	0.325	1.47E+00	6.55E-03	0.00E+00	0
1366	0.3638	1.66E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1441	0.3234	1.56E+00	3.88E-03	0.00E+00	0
1367	0.3636	2.48E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1442	0.3218	2.01E+00	2.36E-03	0.00E+00	0
1368	0.3634	9.50E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1443	0.3202	1.92E+00	1.17E-03	0.00E+00	0
1369	0.3632	2.89E+01	3.09E-07	0.00E+00	0	1444	0.3186	8.21E-01	1.59E-03	0.00E+00	0
1370	0.363	3.52E+01	3.09E-07	0.00E+00	0	1445	0.317	1.35E+00	7.39E-04	0.00E+00	0
1371	0.363	5.18E+01	3.09E-07	0.00E+00	0	1446	0.318	3.68E+00	6.62E-04	0.00E+00	0
1372	0.363	2.91E+01	3.09E-07	0.00E+00	0	1447	0.319	1.45E+00	3.56E-04	0.00E+00	0
1373	0.363	1.53E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1448	0.32	4.32E-01	2.40E-04	0.00E+00	0
1374	0.363	1.21E+01	3.09E-07	0.00E+00	0	1449	0.321	4.44E-01	1.19E-04	0.00E+00	0
1375	0.363	1.27E+01	3.09E-07	0.00E+00	0	1450	0.322	2.22E+00	6.96E-05	0.00E+00	0
1376	0.3622	1.20E+01	3.09E-07	0.00E+00	0	1451	0.3188	4.60E+00	4.54E-05	0.00E+00	0
1377	0.3614	1.26E+01	3.09E-07	0.00E+00	0	1452	0.3156	1.13E+00	2.45E-05	0.00E+00	0
1378	0.3606	6.50E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1453	0.3124	6.89E-01	1.42E-05	0.00E+00	0
1379	0.3598	1.83E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1454	0.3092	2.66E-01	8.02E-06	0.00E+00	0
1380	0.359	1.62E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1455	0.306	8.77E-01	4.84E-06	0.00E+00	0
1381	0.359	5.03E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1456	0.308	6.64E-01	3.01E-06	0.00E+00	0
1382	0.359	3.13E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1457	0.31	3.65E-01	1.46E-06	0.00E+00	0
1383	0.359	6.73E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1458	0.312	3.42E-01	8.23E-07	0.00E+00	0
1384	0.359	3.31E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1459	0.314	1.55E-01	3.09E-07	0.00E+00	0
1385	0.359	4.00E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1460	0.316	8.67E-01	3.09E-07	0.00E+00	0
1386	0.358	2.34E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1461	0.315	4.93E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1387	0.357	8.81E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1462	0.314	3.15E-01	0.00E+00	0.00E+00	0
1388	0.356	2.65E+01	0.00E+00	0.00E+00	0	1463	0.313	1.45E+00	0.00E+00	0.00E+00	0

1464	0.312	2.24E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1539	0.2778	3.66E-04	1.95E-04	0.00E+00	0
1465	0.311	7.58E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1540	0.278	8.26E-05	3.77E-04	0.00E+00	0
1466	0.311	1.06E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1541	0.2778	1.53E-04	2.98E-04	0.00E+00	0
1467	0.311	1.99E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1542	0.2776	5.29E-04	2.10E-04	0.00E+00	0
1468	0.311	6.82E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1543	0.2774	1.70E-04	1.66E-04	0.00E+00	0
1469	0.311	4.68E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1544	0.2772	6.19E-04	6.96E-05	0.00E+00	0
1470	0.311	1.88E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	1545	0.277	8.44E-05	3.62E-05	0.00E+00	0
1471	0.3102	2.87E+00	2.77E-05	0.00E+00	0	1546	0.2768	3.06E-04	2.14E-05	0.00E+00	0
1472	0.3094	1.63E+00	1.61E-04	0.00E+00	0	1547	0.2766	1.19E-04	4.84E-06	0.00E+00	0
1473	0.3086	8.14E-01	1.06E-04	0.00E+00	0	1548	0.2764	1.12E-04	1.46E-06	0.00E+00	0
1474	0.3078	5.52E-01	4.92E-05	0.00E+00	0	1549	0.2762	4.82E-05	3.09E-07	0.00E+00	0
1475	0.307	1.01E-01	8.02E-06	0.00E+00	0	1550	0.276	8.07E-05	3.09E-07	0.00E+00	0
1476	0.3062	9.16E-01	2.94E-05	0.00E+00	0	1551	0.2758	1.16E-04	0.00E+00	0.00E+00	0
1477	0.3054	1.01E+00	5.31E-05	0.00E+00	0	1552	0.2756	3.48E-04	0.00E+00	0.00E+00	0
1478	0.3046	1.06E+00	3.27E-05	0.00E+00	0	1553	0.2754	7.36E-05	0.00E+00	0.00E+00	0
1479	0.3038	3.74E-01	4.92E-05	0.00E+00	0	1554	0.2752	1.21E-04	0.00E+00	0.00E+00	0
1480	0.303	1.05E+00	2.77E-05	0.00E+00	0	1555	0.275	7.01E-05	0.00E+00	0.00E+00	0
1481	0.3022	4.92E-01	1.99E-05	0.00E+00	0	1556	0.2746	9.18E-05	0.00E+00	0.00E+00	0
1482	0.3014	1.02E+00	1.16E-05	0.00E+00	0	1557	0.2742	7.18E-05	0.00E+00	0.00E+00	0
1483	0.3006	1.76E-01	4.84E-06	0.00E+00	0	1558	0.2738	7.35E-05	3.09E-07	0.00E+00	0
1484	0.2998	2.66E-01	3.01E-06	0.00E+00	0	1559	0.2734	8.61E-05	3.09E-07	0.00E+00	0
1485	0.299	2.94E-01	3.01E-06	0.00E+00	0	1560	0.273	9.18E-05	3.09E-07	0.00E+00	0
1486	0.3	2.89E-01	1.46E-06	0.00E+00	0	1561	0.2718	8.43E-05	3.09E-07	0.00E+00	0
1487	0.301	9.36E-01	1.46E-06	0.00E+00	0	1562	0.2706	1.83E-04	3.09E-07	0.00E+00	0
1488	0.302	3.63E-01	3.09E-07	0.00E+00	0	1563	0.2694	1.39E-04	0.00E+00	0.00E+00	0
1489	0.303	1.04E-01	3.09E-07	0.00E+00	0	1564	0.2682	1.55E-04	0.00E+00	0.00E+00	0
1490	0.304	1.21E-01	3.09E-07	0.00E+00	0	1565	0.267	8.06E-05	8.23E-07	0.00E+00	0
1491	0.3034	9.17E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1566	0.2664	1.18E-04	4.84E-06	0.00E+00	0
1492	0.3028	1.41E-01	3.09E-07	0.00E+00	0	1567	0.2658	8.61E-05	3.62E-05	0.00E+00	0
1493	0.3022	9.31E-02	2.19E-06	0.00E+00	0	1568	0.2652	1.23E-04	2.37E-04	0.00E+00	0
1494	0.3016	5.47E-02	3.01E-06	0.00E+00	0	1569	0.2646	5.87E-05	1.03E-03	0.00E+00	0
1495	0.301	1.02E-01	3.01E-06	0.00E+00	0	1570	0.264	7.01E-05	3.29E-03	0.00E+00	0
1496	0.3002	1.21E-01	8.23E-07	0.00E+00	0	1571	0.2638	7.35E-05	6.78E-03	0.00E+00	0
1497	0.2994	3.86E-02	9.18E-06	0.00E+00	0	1572	0.2636	6.50E-05	6.03E-03	0.00E+00	0
1498	0.2986	7.56E-02	4.84E-06	0.00E+00	0	1573	0.2634	7.18E-05	5.88E-03	0.00E+00	0
1499	0.2978	3.80E-02	8.23E-07	0.00E+00	0	1574	0.2632	7.52E-05	3.59E-03	0.00E+00	0
1500	0.297	1.57E-02	3.09E-07	0.00E+00	0	1575	0.263	6.02E-05	7.79E-04	0.00E+00	0
1501	0.2968	7.18E-03	3.09E-07	0.00E+00	0	1576	0.2622	9.37E-05	1.63E-03	0.00E+00	0
1502	0.2966	2.37E-02	3.09E-07	0.00E+00	0	1577	0.2614	6.18E-05	3.75E-03	0.00E+00	0
1503	0.2964	5.66E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1578	0.2606	5.55E-05	3.13E-03	0.00E+00	0
1504	0.2962	1.22E-01	0.00E+00	0.00E+00	0	1579	0.2598	1.27E-04	3.82E-03	0.00E+00	0
1505	0.296	5.77E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1580	0.259	5.86E-05	2.48E-03	0.00E+00	0
1506	0.2952	4.69E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1581	0.2584	6.50E-05	1.99E-03	0.00E+00	0
1507	0.2944	8.66E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1582	0.2578	7.00E-05	1.31E-03	0.00E+00	0
1508	0.2936	1.76E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1583	0.2572	1.99E-04	7.70E-04	0.00E+00	0
1509	0.2928	7.08E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1584	0.2566	5.55E-05	3.98E-04	0.00E+00	0
1510	0.292	4.02E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1585	0.256	7.00E-05	1.83E-04	0.00E+00	0
1511	0.292	5.51E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1586	0.2548	1.65E-04	6.54E-05	0.00E+00	0
1512	0.292	5.44E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1587	0.2536	2.19E-04	3.45E-05	0.00E+00	0
1513	0.292	1.30E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1588	0.2524	6.02E-05	9.18E-06	0.00E+00	0
1514	0.292	2.07E-02	0.00E+00	0.00E+00	0	1589	0.2512	5.55E-05	6.91E-06	0.00E+00	0
1515	0.292	3.80E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1590	0.25	1.18E-04	3.01E-06	0.00E+00	0
1516	0.2912	6.26E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1591	0.2502	9.36E-05	1.46E-06	0.00E+00	0
1517	0.2904	8.91E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1592	0.2504	2.33E-04	8.23E-07	0.00E+00	0
1518	0.2896	8.83E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1593	0.2506	8.41E-05	8.23E-07	0.00E+00	0
1519	0.2888	9.94E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1594	0.2508	1.80E-04	1.46E-06	0.00E+00	0
1520	0.288	4.05E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1595	0.251	1.02E-04	3.01E-06	0.00E+00	0
1521	0.2888	7.66E-04	0.00E+00	0.00E+00	0	1596	0.2512	1.45E-04	8.02E-06	0.00E+00	0
1522	0.2896	2.38E-03	0.00E+00	0.00E+00	0	1597	0.2514	2.79E-04	3.80E-05	0.00E+00	0
1523	0.2904	6.01E-04	3.09E-07	0.00E+00	0	1598	0.2516	9.35E-05	2.22E-04	0.00E+00	0
1524	0.2912	1.34E-03	1.46E-06	0.00E+00	0	1599	0.2518	9.16E-05	1.09E-03	0.00E+00	0
1525	0.292	2.97E-03	6.91E-06	0.00E+00	0	1600	0.252	5.85E-05	2.60E-03	0.00E+00	0
1526	0.2904	2.77E-03	1.16E-05	0.00E+00	0	1601	0.251	9.94E-05	4.87E-03	0.00E+00	0
1527	0.2888	3.03E-03	1.29E-05	0.00E+00	0	1602	0.25	1.70E-04	5.34E-03	0.00E+00	0
1528	0.2872	7.01E-04	1.16E-05	0.00E+00	0	1603	0.249	6.33E-05	5.90E-03	0.00E+00	0
1529	0.2856	1.58E-03	8.02E-06	0.00E+00	0	1604	0.248	6.99E-05	4.70E-03	0.00E+00	0
1530	0.284	2.33E-03	2.14E-05	0.00E+00	0	1605	0.247	6.01E-05	1.73E-03	0.00E+00	0
1531	0.2826	2.47E-03	4.92E-05	0.00E+00	0	1606	0.2474	6.66E-05	8.93E-04	0.00E+00	0
1532	0.2812	3.55E-04	1.39E-04	0.00E+00	0	1607	0.2478	6.33E-05	2.12E-03	0.00E+00	0
1533	0.2798	1.04E-04	3.08E-04	0.00E+00	0	1608	0.2482	1.48E-04	3.73E-03	0.00E+00	0
1534	0.2784	2.97E-04	5.04E-04	0.00E+00	0	1609	0.2486	8.41E-05	4.31E-03	0.00E+00	0
1535	0.277	9.33E-04	5.63E-04	0.00E+00	0	1610	0.249	8.59E-05	2.86E-03	0.00E+00	0
1536	0.2772	3.37E-04	3.18E-04	0.00E+00	0	1611	0.2488	1.14E-04	2.55E-03	0.00E+00	0
1537	0.2774	8.18E-04	1.81E-04	0.00E+00	0	1612	0.2486	6.33E-05	1.94E-03	0.00E+00	0
1538	0.2776	1.30E-04	4.92E-05	0.00E+00	0	1613	0.2484	1.36E-04	1.24E-03	0.00E+00	0

1614	0.2482	9.54E-05	7.00E-04	0.00E+00	0	1689	0.223	2.57E-04	4.92E-05	0.00E+00	0
1615	0.248	7.51E-05	4.43E-04	0.00E+00	0	1690	0.223	5.53E-04	9.20E-05	0.00E+00	0
1616	0.2474	8.96E-05	2.62E-04	0.00E+00	0	1691	0.222	3.59E-03	4.92E-04	0.00E+00	0
1617	0.2468	1.45E-04	1.72E-04	0.00E+00	0	1692	0.221	9.17E-04	1.50E-04	0.00E+00	0
1618	0.2462	6.99E-05	1.39E-04	0.00E+00	0	1693	0.22	1.33E-04	3.98E-05	0.00E+00	0
1619	0.2456	1.80E-04	8.97E-05	0.00E+00	0	1694	0.219	6.63E-04	5.11E-04	0.00E+00	0
1620	0.245	6.65E-05	5.11E-05	0.00E+00	0	1695	0.218	1.38E-04	1.45E-04	0.00E+00	0
1621	0.2458	6.65E-05	5.31E-05	0.00E+00	0	1696	0.2186	2.69E-04	1.04E-05	0.00E+00	0
1622	0.2466	7.16E-05	4.16E-05	0.00E+00	0	1697	0.2192	8.13E-03	3.88E-04	0.00E+00	0
1623	0.2474	6.99E-05	2.45E-05	0.00E+00	0	1698	0.2198	1.72E-04	1.69E-04	0.00E+00	0
1624	0.2482	7.16E-05	6.75E-05	0.00E+00	0	1699	0.2204	5.66E-04	5.92E-05	0.00E+00	0
1625	0.249	1.25E-04	1.56E-05	0.00E+00	0	1700	0.221	8.41E-04	2.72E-04	0.00E+00	0
1626	0.2484	7.16E-05	8.29E-05	0.00E+00	0	1702	0.219	1.45E-04	1.98E-04	0.00E+00	0
1627	0.2478	6.82E-05	6.12E-05	0.00E+00	0	1705	0.216	2.20E-03	3.93E-04	0.00E+00	0
1628	0.2472	7.16E-05	1.21E-04	0.00E+00	0	1710	0.207	2.25E-03	2.74E-04	0.00E+00	0
1629	0.2466	6.99E-05	7.40E-05	0.00E+00	0	1715	0.216	3.38E-03	7.67E-05	0.00E+00	0
1630	0.246	7.16E-05	1.02E-04	0.00E+00	0	1720	0.209	2.60E-03	1.09E-04	0.00E+00	0
1631	0.2452	7.50E-05	2.40E-04	0.00E+00	0	1725	0.2	5.67E-03	3.23E-04	0.00E+00	0
1632	0.2444	1.83E-04	5.51E-05	0.00E+00	0	1730	0.194	6.07E-03	2.38E-04	0.00E+00	0
1633	0.2436	1.52E-04	4.09E-04	0.00E+00	0	1735	0.193	9.18E-03	9.36E-05	0.00E+00	0
1634	0.2428	7.68E-05	8.97E-05	0.00E+00	0	1740	0.195	9.86E-03	8.04E-05	0.00E+00	0
1635	0.242	1.55E-04	4.73E-04	0.00E+00	0	1745	0.189	1.76E-02	3.87E-05	0.00E+00	0
1636	0.2408	7.68E-05	2.46E-04	0.00E+00	0	1750	0.191	1.01E-02	2.09E-05	0.00E+00	0
1637	0.2396	1.01E-04	1.06E-04	0.00E+00	0	1755	0.193	2.11E-02	1.50E-05	0.00E+00	0
1638	0.2384	7.67E-05	1.30E-03	0.00E+00	0	1760	0.188	1.35E-02	1.73E-05	0.00E+00	0
1639	0.2372	1.50E-04	1.89E-04	0.00E+00	0	1765	0.186	4.87E-02	4.32E-05	0.00E+00	0
1640	0.236	3.22E-04	1.66E-03	0.00E+00	0	1770	0.18	3.33E-02	9.36E-05	0.00E+00	0
1641	0.2366	8.21E-05	7.13E-04	0.00E+00	0	1775	0.176	8.28E-02	1.39E-04	0.00E+00	0
1642	0.2372	1.40E-04	4.02E-04	0.00E+00	0	1780	0.174	1.35E-01	5.43E-05	0.00E+00	0
1643	0.2378	8.96E-05	2.78E-03	0.00E+00	0	1785	0.173	2.67E-01	6.44E-05	0.00E+00	0
1644	0.2384	7.85E-05	3.52E-04	0.00E+00	0	1790	0.172	1.77E-01	2.72E-04	0.00E+00	0
1645	0.239	2.33E-04	9.63E-04	0.00E+00	0	1795	0.176	9.59E-01	6.09E-05	0.00E+00	0
1646	0.2384	3.53E-04	1.83E-03	0.00E+00	0	1800	0.172	1.36E+00	1.97E-05	0.00E+00	0
1647	0.2378	9.93E-05	2.19E-04	0.00E+00	0	1805	0.171	2.61E+00	4.47E-05	0.00E+00	0
1648	0.2372	1.29E-04	2.45E-03	0.00E+00	0	1810	0.163	3.62E+00	3.72E-05	0.00E+00	0
1649	0.2366	1.52E-04	7.17E-04	0.00E+00	0	1815	0.163	5.15E+00	2.47E-05	0.00E+00	0
1650	0.236	1.88E-04	3.56E-04	0.00E+00	0	1820	0.162	1.19E+01	6.22E-07	0.00E+00	0
1651	0.2364	1.16E-04	3.30E-03	0.00E+00	0	1825	0.159	7.36E+00	0.00E+00	0.00E+00	0
1652	0.2368	6.68E-04	1.34E-04	0.00E+00	0	1830	0.159	1.89E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1653	0.2372	3.57E-04	1.39E-04	0.00E+00	0	1835	0.153	3.52E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1654	0.2376	1.88E-04	1.89E-03	0.00E+00	0	1840	0.156	5.87E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1655	0.238	1.90E-04	1.66E-04	0.00E+00	0	1845	0.154	2.23E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1656	0.2378	2.85E-04	5.99E-04	0.00E+00	0	1850	0.151	3.58E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1657	0.2376	3.39E-04	2.49E-04	0.00E+00	0	1855	0.148	3.94E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1658	0.2374	2.39E-04	1.42E-05	0.00E+00	0	1860	0.146	2.70E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1659	0.2372	1.22E-04	1.61E-04	0.00E+00	0	1865	0.146	1.21E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1660	0.237	1.57E-04	1.09E-04	0.00E+00	0	1870	0.138	7.89E+01	0.00E+00	0.00E+00	0
1661	0.2362	4.01E-04	1.16E-05	0.00E+00	0	1875	0.138	7.01E+01	2.61E-05	0.00E+00	0
1662	0.2354	7.02E-04	2.65E-04	0.00E+00	0	1880	0.143	1.04E+01	1.09E-04	0.00E+00	0
1663	0.2346	1.70E-04	3.27E-05	0.00E+00	0	1885	0.141	1.28E+01	3.57E-05	0.00E+00	0
1664	0.2338	3.75E-04	2.29E-05	0.00E+00	0	1890	0.14	1.29E+01	8.79E-06	0.00E+00	0
1665	0.233	1.45E-04	1.79E-03	0.00E+00	0	1895	0.141	8.14E+00	1.10E-06	0.00E+00	0
1666	0.2328	5.53E-04	1.34E-02	0.00E+00	0	1900	0.136	4.03E+01	1.10E-06	0.00E+00	0
1667	0.2326	1.36E-04	1.84E-03	0.00E+00	0	1905	0.139	5.54E+01	1.10E-06	0.00E+00	0
1668	0.2324	9.33E-05	3.05E-04	0.00E+00	0	1910	0.141	1.18E+01	1.66E-06	0.00E+00	0
1669	0.2322	5.79E-04	6.96E-05	0.00E+00	0	1915	0.139	2.50E+01	6.22E-07	0.00E+00	0
1670	0.232	1.85E-04	4.92E-05	0.00E+00	0	1920	0.137	1.95E+01	6.22E-07	0.00E+00	0
1671	0.2304	2.39E-04	1.92E-04	0.00E+00	0	1925	0.135	7.28E+00	6.22E-07	0.00E+00	0
1672	0.2288	2.24E-04	3.98E-05	0.00E+00	0	1930	0.135	7.49E+00	2.33E-07	0.00E+00	0
1673	0.2272	1.59E-04	1.42E-05	0.00E+00	0	1935	0.134	2.79E+00	1.29E-05	0.00E+00	0
1674	0.2256	2.54E-04	3.42E-04	0.00E+00	0	1940	0.132	3.39E+00	5.89E-04	0.00E+00	0
1675	0.224	2.51E-04	2.37E-04	0.00E+00	0	1945	0.13	2.68E+00	7.10E-03	0.00E+00	0
1676	0.2242	5.18E-04	4.84E-06	0.00E+00	0	1950	0.129	9.47E-01	2.69E-02	0.00E+00	0
1677	0.2244	3.94E-04	2.10E-04	0.00E+00	0	1955	0.124	1.31E+00	9.53E-02	0.00E+00	0
1678	0.2246	5.79E-04	6.49E-04	0.00E+00	0	1960	0.128	8.17E-01	5.21E-02	0.00E+00	0
1679	0.2248	1.90E-04	8.02E-06	0.00E+00	0	1965	0.128	3.17E-01	6.35E-02	0.00E+00	0
1680	0.225	2.88E-04	2.45E-05	0.00E+00	0	1970	0.127	1.45E-01	3.35E-02	0.00E+00	0
1681	0.2246	1.38E-04	6.87E-04	0.00E+00	0	1975	0.132	1.04E-01	8.00E-03	0.00E+00	0
1682	0.2242	1.27E-04	3.10E-05	0.00E+00	0	1980	0.127	9.98E-02	1.33E-03	0.00E+00	0
1683	0.2238	1.75E-04	1.16E-05	0.00E+00	0	1985	0.125	6.08E-02	2.28E-04	0.00E+00	0
1684	0.2234	1.61E-03	1.34E-03	0.00E+00	0	1990	0.123	6.16E-02	2.30E-04	0.00E+00	0
1685	0.223	1.33E-04	4.16E-05	0.00E+00	0	1995	0.125	4.08E-02	5.78E-03	0.00E+00	0
1686	0.223	1.72E-04	2.29E-05	0.00E+00	0	2000	0.118	2.54E-02	1.41E-01	0.00E+00	0
1687	0.223	5.31E-04	6.70E-04	0.00E+00	0	2005	0.112	5.94E-02	2.67E-01	0.00E+00	0
1688	0.223	1.47E-04	1.11E-04	0.00E+00	0	2010	0.116	5.96E-03	1.36E-01	0.00E+00	0

2015	0.114	2.70E-02	1.73E-01	0.00E+00	0	2390	0.06	9.02E-02	3.17E-03	0.00E+00	0
2020	0.115	1.47E-02	9.04E-02	0.00E+00	0	2395	0.059	5.52E-02	4.15E-03	0.00E+00	0
2025	0.115	5.71E-03	2.63E-02	0.00E+00	0	2400	0.055	4.75E-02	2.31E-03	0.00E+00	0
2030	0.112	1.10E-02	6.90E-03	0.00E+00	0	2405	0.056	1.43E-01	2.21E-03	0.00E+00	0
2035	0.109	2.72E-03	3.79E-03	0.00E+00	0	2410	0.057	1.40E-01	9.30E-04	0.00E+00	0
2040	0.109	5.76E-03	4.25E-03	0.00E+00	0	2415	0.054	3.75E-01	6.30E-04	0.00E+00	0
2045	0.11	3.69E-03	5.92E-03	0.00E+00	0	2420	0.058	3.19E-01	5.92E-04	0.00E+00	0
2050	0.106	4.10E-03	3.73E-02	0.00E+00	0	2425	0.055	1.53E-01	1.19E-03	0.00E+00	0
2055	0.104	4.06E-03	6.50E-02	0.00E+00	0	2430	0.059	6.21E-02	4.63E-04	0.00E+00	0
2060	0.102	5.01E-03	3.14E-02	0.00E+00	0	2435	0.055	1.11E+00	4.69E-04	0.00E+00	0
2065	0.097	3.27E-03	4.68E-02	0.00E+00	0	2440	0.052	7.18E-02	2.96E-04	0.00E+00	0
2070	0.101	3.88E-03	3.41E-02	0.00E+00	0	2445	0.05	5.47E-01	2.35E-04	0.00E+00	0
2075	0.103	4.42E-03	1.55E-02	0.00E+00	0	2450	0.051	9.98E-01	2.23E-04	0.00E+00	0
2080	0.099	2.31E-03	4.75E-03	0.00E+00	0	2455	0.052	3.92E-01	1.24E-04	0.00E+00	0
2085	0.098	2.29E-03	5.64E-03	0.00E+00	0	2460	0.049	1.95E-01	8.60E-05	0.00E+00	0
2090	0.1	2.55E-03	3.41E-03	0.00E+00	0	2465	0.054	4.71E-01	5.26E-05	0.00E+00	0
2095	0.093	3.74E-03	1.38E-03	0.00E+00	0	2470	0.049	1.06E+00	5.93E-05	0.00E+00	0
2100	0.095	6.94E-03	5.89E-04	0.00E+00	0	2475	0.054	9.07E-01	1.85E-05	0.00E+00	0
2105	0.095	2.06E-03	4.66E-04	0.00E+00	0	2480	0.051	1.50E+00	2.35E-05	0.00E+00	0
2110	0.089	3.49E-03	5.89E-04	0.00E+00	0	2485	0.048	2.87E+00	8.04E-05	0.00E+00	0
2115	0.092	2.55E-03	2.58E-04	0.00E+00	0	2490	0.055	3.87E+00	5.26E-05	0.00E+00	0
2120	0.089	3.63E-03	2.23E-04	0.00E+00	0	2495	0.047	4.10E+00	2.35E-05	0.00E+00	0
2125	0.089	2.36E-03	9.17E-05	0.00E+00	0	2500	0.0512	1.80E+00	4.32E-05	0.00E+00	0
2130	0.089	2.46E-03	3.01E-05	0.00E+00	0	2505	0.0505	3.16E+00	1.50E-05	0.00E+00	0
2135	0.087	2.00E-03	7.85E-06	0.00E+00	0	2510	0.0491	3.28E+00	1.85E-05	0.00E+00	0
2140	0.092	1.35E-03	6.94E-06	0.00E+00	0	2515	0.0478	9.45E+00	2.47E-05	0.00E+00	0
2145	0.084	1.33E-03	3.43E-05	0.00E+00	0	2520	0.0469	3.72E+00	2.35E-05	0.00E+00	0
2150	0.083	3.69E-03	1.70E-04	0.00E+00	0	2525	0.0463	9.35E+00	1.97E-05	0.00E+00	0
2155	0.081	2.95E-03	1.47E-04	0.00E+00	0	2530	0.0466	3.29E+01	1.85E-05	0.00E+00	0
2160	0.084	4.51E-03	2.48E-04	0.00E+00	0	2535	0.046	3.08E+01	2.61E-05	0.00E+00	0
2165	0.082	4.18E-03	2.10E-04	0.00E+00	0	2540	0.0461	1.84E+01	1.29E-05	0.00E+00	0
2170	0.084	3.83E-03	1.79E-04	0.00E+00	0	2545	0.0458	8.71E+01	1.18E-05	0.00E+00	0
2175	0.079	4.23E-03	1.26E-04	0.00E+00	0	2550	0.0455	9.26E+01	3.72E-05	0.00E+00	0
2180	0.077	3.48E-03	2.03E-04	0.00E+00	0	2555	0.0452	3.16E+01	9.94E-05	0.00E+00	0
2185	0.069	1.10E-02	8.79E-05	0.00E+00	0	2560	0.0445	1.54E+02	4.16E-04	0.00E+00	0
2190	0.074	3.38E-03	3.43E-05	0.00E+00	0	2565	0.0443	2.21E+02	4.85E-04	0.00E+00	0
2195	0.075	4.15E-03	4.94E-05	0.00E+00	0	2570	0.0439	2.80E+02	4.69E-04	0.00E+00	0
2200	0.084	4.87E-03	3.66E-03	0.00E+00	0	2575	0.0433	3.97E+02	4.01E-04	0.00E+00	0
2205	0.077	4.45E-03	8.50E-04	0.00E+00	0	2580	0.043	2.37E+02	1.18E-04	0.00E+00	0
2210	0.077	2.78E-03	5.76E-05	0.00E+00	0	2585	0.0425	6.95E+02	5.20E-04	0.00E+00	0
2215	0.074	2.74E-03	2.53E-04	0.00E+00	0	2590	0.0422	4.44E+02	1.28E-03	0.00E+00	0
2220	0.079	2.01E-03	5.59E-04	0.00E+00	0	2595	0.0419	1.53E+03	8.57E-04	0.00E+00	0
2225	0.077	3.19E-03	6.82E-04	0.00E+00	0	2600	0.0417	3.43E+02	1.05E-03	0.00E+00	0
2230	0.077	1.20E-03	1.12E-03	0.00E+00	0	2605	0.0416	1.63E+03	5.13E-04	0.00E+00	0
2235	0.066	1.96E-03	1.43E-03	0.00E+00	0	2610	0.0413	6.78E+02	7.64E-04	0.00E+00	0
2240	0.061	1.20E-03	1.62E-03	0.00E+00	0	2615	0.0411	8.77E+02	1.00E-03	0.00E+00	0
2245	0.073	1.68E-03	2.65E-03	0.00E+00	0	2620	0.0409	1.01E+03	5.16E-04	0.00E+00	0
2250	0.077	1.28E-03	1.80E-03	0.00E+00	0	2625	0.0404	3.24E+02	3.37E-04	0.00E+00	0
2255	0.077	1.42E-03	4.11E-03	0.00E+00	0	2630	0.04	1.21E+03	2.96E-04	0.00E+00	0
2260	0.072	1.48E-03	4.13E-03	0.00E+00	0	2635	0.0396	2.84E+02	1.91E-04	0.00E+00	0
2265	0.073	1.35E-03	3.24E-03	0.00E+00	0	2640	0.0391	9.65E+01	7.67E-05	0.00E+00	0
2270	0.066	1.45E-03	6.13E-03	0.00E+00	0	2645	0.0389	2.46E+02	4.17E-05	0.00E+00	0
2275	0.065	1.46E-03	6.25E-03	0.00E+00	0	2650	0.0387	1.34E+02	6.61E-05	0.00E+00	0
2280	0.07	1.55E-03	3.02E-03	0.00E+00	0	2655	0.0386	4.19E+02	3.55E-04	0.00E+00	0
2285	0.067	1.56E-03	4.75E-03	0.00E+00	0	2660	0.0384	6.67E+02	9.78E-03	0.00E+00	0
2290	0.067	1.66E-03	6.30E-03	0.00E+00	0	2665	0.0383	1.80E+03	1.76E-01	0.00E+00	0
2295	0.066	1.76E-03	6.38E-03	0.00E+00	0	2670	0.0382	2.13E+03	9.39E-01	0.00E+00	0
2300	0.067	3.22E-03	9.38E-03	0.00E+00	0	2675	0.0378	1.16E+03	4.49E+00	0.00E+00	0
2305	0.064	3.69E-03	8.10E-03	0.00E+00	0	2680	0.0375	9.36E+02	8.68E+00	0.00E+00	0
2310	0.063	5.66E-03	1.50E-03	0.00E+00	0	2685	0.0372	5.81E+02	1.30E+01	0.00E+00	0
2315	0.059	5.47E-03	6.87E-03	0.00E+00	0	2690	0.0368	2.53E+02	4.10E+00	0.00E+00	0
2320	0.054	5.73E-03	1.28E-02	0.00E+00	0	2695	0.0365	1.10E+03	5.03E+00	0.00E+00	0
2325	0.056	7.71E-03	2.70E-03	0.00E+00	0	2700	0.036	3.18E+02	1.05E+01	0.00E+00	0
2330	0.056	4.95E-03	4.03E-03	0.00E+00	0	2705	0.0359	1.46E+02	6.72E+00	0.00E+00	0
2335	0.06	3.38E-03	4.45E-03	0.00E+00	0	2710	0.0357	1.31E+03	3.57E+00	0.00E+00	0
2340	0.059	2.15E-02	9.94E-03	0.00E+00	0	2715	0.0356	2.23E+02	1.55E+00	0.00E+00	0
2345	0.061	8.36E-03	9.66E-03	0.00E+00	0	2720	0.0355	1.44E+03	4.73E-01	0.00E+00	0
2350	0.062	3.15E-02	1.27E-02	0.00E+00	0	2725	0.0353	8.64E+02	2.93E-01	0.00E+00	0
2355	0.064	1.36E-02	9.19E-03	0.00E+00	0	2730	0.0352	7.84E+01	1.84E-01	0.00E+00	0
2360	0.066	1.11E-02	6.81E-03	0.00E+00	0	2735	0.0349	3.19E+02	2.26E-01	0.00E+00	0
2365	0.062	1.86E-02	2.99E-03	0.00E+00	0	2740	0.0348	1.49E+03	3.54E-01	0.00E+00	0
2370	0.062	6.29E-02	2.78E-02	0.00E+00	0	2745	0.0346	2.20E+02	1.06E+00	0.00E+00	0
2375	0.058	2.71E-02	9.35E-03	0.00E+00	0	2750	0.0345	1.80E+02	2.49E+00	0.00E+00	0
2380	0.056	6.31E-02	2.61E-03	0.00E+00	0	2755	0.0343	7.90E+02	6.76E+00	0.00E+00	0
2385	0.061	1.41E-01	4.72E-03	0.00E+00	0	2760	0.0341	2.65E+02	8.20E+00	0.00E+00	0

2765	0.0338	6.35E+02	3.40E+00	0.00E+00	0	3140	0.0206	1.03E+00	6.57E-04	3.89E-03	0
2770	0.0336	3.86E+02	2.32E+00	0.00E+00	0	3145	0.0205	1.20E+00	2.99E-04	4.67E-03	0
2775	0.0333	1.61E+02	6.55E+00	0.00E+00	0	3150	0.0204	4.80E-01	2.32E-03	4.87E-03	0
2780	0.0329	3.02E+02	6.05E+00	0.00E+00	0	3155	0.0203	6.06E-01	7.68E-04	4.48E-03	0
2785	0.0327	2.19E+02	3.59E+00	0.00E+00	0	3160	0.0202	2.31E-01	4.86E-03	3.70E-03	0
2790	0.0324	1.40E+02	1.97E+00	0.00E+00	0	3165	0.0202	5.31E-02	7.91E-03	2.72E-03	0
2795	0.0321	7.74E+01	1.26E+00	0.00E+00	0	3170	0.0201	1.10E-01	2.66E-03	2.14E-03	0
2800	0.032	8.41E+01	7.50E-01	0.00E+00	0	3175	0.02	1.91E-01	1.36E-02	1.56E-03	0
2805	0.0318	3.35E+02	6.35E-01	0.00E+00	0	3180	0.0199	2.00E-01	2.77E-03	1.36E-03	0
2810	0.0317	4.24E+01	4.38E-01	0.00E+00	0	3185	0.0198	1.93E-01	3.16E-02	1.17E-03	0
2815	0.0316	6.13E+01	3.48E-01	0.00E+00	0	3190	0.0198	7.35E-01	5.06E-03	1.17E-03	0
2820	0.0314	1.39E+02	2.56E-01	0.00E+00	0	3195	0.0197	1.28E+00	3.35E-02	1.17E-03	0
2825	0.0312	1.66E+01	1.61E-01	0.00E+00	0	3200	0.0196	6.08E+00	1.48E-02	1.56E-03	0
2830	0.0311	1.54E+01	1.05E-01	0.00E+00	0	3205	0.0195	9.09E+00	2.69E-02	1.36E-03	0
2835	0.0308	1.05E+02	4.89E-02	0.00E+00	0	3210	0.0194	8.22E+00	3.62E-02	1.75E-03	0
2840	0.0306	3.76E+01	5.88E-02	0.00E+00	0	3215	0.0193	4.44E+00	1.48E-02	1.17E-03	0
2845	0.0303	9.18E+00	6.01E-02	0.00E+00	0	3220	0.0192	1.75E+00	6.38E-02	1.36E-03	0
2850	0.03	3.83E+01	5.71E-02	0.00E+00	0	3225	0.0191	7.16E+00	8.02E-03	1.95E-03	0
2855	0.0297	5.57E+01	5.16E-02	0.00E+00	0	3230	0.0191	5.05E+00	4.93E-02	8.96E-03	0
2860	0.0294	1.14E+02	5.35E-02	0.00E+00	0	3235	0.019	3.56E-01	7.72E-03	3.70E-03	0
2865	0.0292	4.89E+00	5.56E-02	0.00E+00	0	3240	0.019	5.79E-01	6.78E-02	1.56E-03	0
2870	0.029	2.00E+01	3.21E-02	0.00E+00	0	3245	0.0189	4.54E+00	6.55E-03	1.17E-03	0
2875	0.0288	7.31E+00	2.07E-02	0.00E+00	0	3250	0.0189	6.83E-01	5.50E-02	1.75E-03	0
2880	0.0287	4.38E+00	2.31E-02	0.00E+00	0	3255	0.0187	1.90E-01	6.92E-03	2.33E-03	0
2885	0.0285	5.09E+00	2.12E-02	0.00E+00	0	3260	0.0186	1.22E+00	6.59E-02	2.33E-03	0
2890	0.0284	8.42E+00	1.68E-02	0.00E+00	0	3265	0.0185	1.90E+00	6.18E-03	2.53E-03	0
2895	0.0283	2.31E+00	8.56E-03	0.00E+00	0	3270	0.0184	1.55E+00	5.30E-02	8.62E-02	0
2900	0.0282	1.54E+01	5.26E-03	0.00E+00	0	3275	0.0183	5.71E-01	2.57E-02	1.68E-01	0
2905	0.0281	1.10E+01	2.41E-03	0.00E+00	0	3280	0.0182	7.67E-01	2.88E-02	7.75E-02	0
2910	0.0279	2.31E+00	9.89E-04	0.00E+00	0	3285	0.0182	1.36E-01	2.13E-03	4.82E-02	0
2915	0.0276	4.65E+00	3.93E-04	0.00E+00	0	3290	0.0182	1.50E-01	1.67E-02	6.22E-02	0
2920	0.0274	2.05E+00	1.75E-04	0.00E+00	0	3295	0.0181	1.73E+00	2.85E-03	6.66E-02	0
2925	0.0272	4.73E+00	9.36E-05	0.00E+00	0	3300	0.0179	1.36E+00	1.59E-02	6.72E-02	0
2930	0.0269	1.16E+00	5.10E-05	0.00E+00	0	3305	0.0177	8.18E-01	6.28E-03	5.64E-02	0
2935	0.0266	1.03E+00	2.22E-05	0.00E+00	0	3310	0.0175	3.84E-01	7.12E-02	4.58E-02	0
2940	0.0264	2.49E+00	1.08E-05	0.00E+00	0	3315	0.0174	5.10E-01	0.00E+00	3.75E-02	0
2945	0.0261	5.02E+00	3.57E-05	0.00E+00	0	3320	0.0172	5.71E+00	2.57E-01	2.58E-02	0
2950	0.0259	1.28E+00	1.52E-04	0.00E+00	0	3325	0.017	4.05E-01	8.28E-02	1.91E-02	0
2955	0.0258	1.97E+00	4.66E-04	0.00E+00	0	3330	0.0168	4.31E-01	9.67E-03	1.31E-02	0
2960	0.0256	1.06E+00	8.76E-04	0.00E+00	0	3335	0.0167	7.95E-02	2.27E-02	8.77E-03	0
2965	0.0255	6.10E-01	1.12E-03	0.00E+00	0	3340	0.0165	6.03E-01	1.71E-03	5.84E-03	0
2970	0.0254	8.81E+00	1.05E-03	0.00E+00	0	3345	0.0164	5.57E-01	3.99E-02	3.89E-03	0
2975	0.0253	4.43E+00	1.44E-03	0.00E+00	0	3350	0.0162	1.85E-01	3.35E-03	2.33E-03	0
2980	0.0251	2.14E+00	1.97E-03	0.00E+00	0	3355	0.0161	4.50E-01	3.84E-02	1.56E-03	0
2985	0.025	5.39E-01	1.26E-03	0.00E+00	0	3360	0.0159	3.79E-01	7.85E-03	9.72E-04	0
2990	0.0249	3.50E-01	6.64E-04	0.00E+00	0	3365	0.0159	2.36E-01	7.33E-03	5.83E-04	0
2995	0.0248	1.45E+00	6.30E-04	0.00E+00	0	3370	0.0158	2.32E-01	6.90E-02	3.89E-04	0
3000	0.0247	6.20E-01	1.28E-04	0.00E+00	0	3375	0.0157	1.36E-01	5.48E-03	1.94E-04	0
3005	0.0245	1.48E+00	1.41E-04	0.00E+00	0	3380	0.0156	8.31E-02	9.12E-02	1.94E-04	0
3010	0.0244	6.58E-01	2.48E-04	0.00E+00	0	3385	0.0156	1.35E-01	9.42E-03	1.94E-04	0
3015	0.0243	7.83E-01	2.64E-04	0.00E+00	0	3390	0.0155	1.35E-02	3.06E-02	1.94E-04	0
3020	0.0241	7.03E+00	1.72E-04	0.00E+00	0	3395	0.0155	3.18E-02	1.69E-02	1.94E-04	0
3025	0.024	5.61E-01	1.05E-04	0.00E+00	0	3400	0.0154	1.45E-02	6.13E-03	1.94E-04	0
3030	0.0239	9.23E-01	3.87E-05	0.00E+00	0	3405	0.0153	1.15E-01	7.63E-02	1.94E-04	0
3035	0.0238	1.63E+00	1.29E-05	0.00E+00	0	3410	0.0152	1.69E-01	5.99E-03	1.94E-04	0
3040	0.0237	2.44E+00	4.42E-06	0.00E+00	0	3415	0.0152	1.95E-02	5.55E-02	1.94E-04	0
3045	0.0236	1.34E+00	1.66E-06	0.00E+00	0	3420	0.0151	7.18E-03	7.23E-03	1.94E-04	0
3050	0.0235	4.95E+00	6.22E-07	0.00E+00	0	3425	0.015	7.88E-03	2.55E-02	1.94E-04	0
3055	0.0235	7.01E+00	3.66E-06	0.00E+00	0	3430	0.0149	3.94E-03	4.31E-02	1.94E-04	0
3060	0.0234	7.16E-01	2.33E-07	0.00E+00	0	3435	0.0148	1.93E-02	3.77E-03	3.89E-04	0
3065	0.0232	1.38E+00	2.33E-07	0.00E+00	0	3440	0.0147	1.23E-02	4.14E-02	3.89E-04	0
3070	0.0231	2.94E+00	2.33E-07	0.00E+00	0	3445	0.0147	2.01E-02	5.44E-03	3.89E-04	0
3075	0.023	7.80E-01	1.10E-06	0.00E+00	0	3450	0.0146	3.83E-03	1.50E-02	1.94E-04	0
3080	0.0228	1.17E+00	6.22E-07	0.00E+00	0	3455	0.0146	2.84E-02	2.36E-02	1.94E-04	0
3085	0.0226	2.54E+00	0.00E+00	0.00E+00	0	3460	0.0145	1.21E-02	1.71E-03	1.94E-04	0
3090	0.0224	1.95E+00	1.66E-06	0.00E+00	0	3465	0.0145	3.92E-03	2.73E-02	1.94E-04	0
3095	0.0222	5.11E+00	2.27E-06	0.00E+00	0	3470	0.0144	8.82E-03	4.39E-03	1.94E-04	0
3100	0.022	1.04E+00	1.66E-06	0.00E+00	0	3475	0.0143	1.07E-02	9.26E-03	1.94E-04	0
3105	0.0218	4.13E+00	1.08E-05	0.00E+00	0	3480	0.0142	5.46E-03	1.22E-02	1.94E-04	0
3110	0.0216	5.11E+00	2.35E-05	0.00E+00	0	3485	0.0142	7.60E-03	3.84E-03	1.94E-04	0
3115	0.0214	1.81E+00	3.87E-05	0.00E+00	0	3490	0.0141	1.33E-02	1.16E-02	1.94E-04	0
3120	0.0212	3.28E-01	4.94E-05	7.78E-04	0	3495	0.0141	6.92E-03	3.84E-03	1.94E-04	0
3125	0.021	1.22E+00	2.25E-04	8.77E-03	0	3500	0.014	8.63E-03	3.22E-03	1.94E-04	0
3130	0.0209	6.47E-01	1.39E-04	9.55E-03	0	3505	0.0139	7.94E-03	3.89E-03	1.94E-04	0
3135	0.0208	2.28E-01	2.90E-04	3.31E-03	0	3510	0.0138	1.00E-02	1.75E-03	1.94E-04	0

3515	0.0138	2.07E-02	9.26E-04	1.94E-04	0	3890	0.0097	2.88E-03	2.09E-02	0.00E+00	0
3520	0.0137	1.06E-02	1.11E-03	0.00E+00	0	3895	0.0096	3.87E-03	1.57E-02	0.00E+00	0
3525	0.0137	1.57E-02	1.46E-03	0.00E+00	0	3900	0.0096	6.96E-03	3.82E-03	0.00E+00	0
3530	0.0136	1.41E-02	3.31E-03	0.00E+00	0	3905	0.0096	3.46E-03	1.01E-02	0.00E+00	0
3535	0.0136	2.15E-02	9.37E-03	0.00E+00	0	3910	0.0095	2.72E-03	1.81E-02	0.00E+00	0
3540	0.0135	2.70E-02	1.22E-02	0.00E+00	0	3915	0.0095	3.57E-03	1.84E-02	0.00E+00	0
3545	0.0135	2.00E-02	1.04E-02	0.00E+00	0	3920	0.0094	5.09E-03	1.72E-02	0.00E+00	0
3550	0.0134	2.02E-02	3.37E-03	0.00E+00	0	3925	0.0094	2.99E-03	1.74E-02	0.00E+00	0
3555	0.0133	4.49E-02	3.10E-03	0.00E+00	0	3930	0.0093	3.37E-03	1.60E-02	0.00E+00	0
3560	0.0132	1.34E-02	2.52E-03	0.00E+00	0	3935	0.0093	2.26E-03	1.30E-02	0.00E+00	0
3565	0.0132	8.16E-03	6.45E-03	2.92E-03	0	3940	0.0092	2.61E-03	1.24E-02	0.00E+00	0
3570	0.0131	5.64E-02	3.81E-03	1.84E-02	0	3945	0.0092	3.85E-03	1.04E-02	0.00E+00	0
3575	0.013	3.18E-02	1.01E-02	2.78E-02	0	3950	0.0091	3.78E-03	8.49E-03	0.00E+00	0
3580	0.0129	1.22E-02	4.63E-03	2.03E-02	0	3955	0.0091	2.35E-03	7.91E-03	0.00E+00	0
3585	0.0129	2.61E-02	6.97E-03	8.18E-03	0	3960	0.009	2.31E-03	6.89E-03	0.00E+00	0
3590	0.0128	2.99E-02	3.14E-03	1.62E-02	0	3965	0.009	2.52E-03	6.12E-03	0.00E+00	0
3595	0.0128	2.38E-02	1.83E-03	9.74E-03	0	3970	0.0089	2.91E-03	6.30E-03	0.00E+00	0
3600	0.0127	1.54E-02	1.23E-03	1.13E-02	0	3975	0.0089	2.87E-03	7.86E-03	0.00E+00	0
3605	0.0127	6.92E-03	5.89E-03	1.48E-02	0	3980	0.0088	2.38E-03	8.81E-03	0.00E+00	0
3610	0.0126	2.58E-02	2.84E-03	1.41E-02	0	3985	0.0088	2.23E-03	7.69E-03	2.00E-04	0
3615	0.0126	2.74E-02	7.24E-04	1.19E-02	0	3990	0.0088	2.37E-03	8.03E-03	2.00E-04	0
3620	0.0125	4.05E-03	6.33E-04	8.96E-03	0	3995	0.0087	2.41E-03	8.98E-03	2.00E-04	0
3625	0.0125	1.04E-02	3.02E-03	7.60E-03	0	4000	0.0087	2.38E-03	1.41E-04	2.00E-04	0
3630	0.0124	1.82E-02	1.39E-03	5.06E-03	0	4005	0.00866	1.53E-02	1.70E-04	2.00E-04	0
3635	0.0124	1.51E-02	6.96E-04	3.70E-03	0	4010	0.00862	1.24E-02	2.61E-04	2.00E-04	0
3640	0.0123	4.00E-03	6.61E-04	2.53E-03	0	4015	0.00858	3.59E-03	1.68E-04	0.00E+00	0
3645	0.0123	3.71E-03	3.99E-03	1.95E-03	0	4020	0.00854	3.55E-03	1.77E-04	0.00E+00	0
3650	0.0122	9.80E-03	2.46E-03	1.95E-03	0						
3655	0.0122	8.59E-03	2.96E-04	3.89E-03	0						
3660	0.0121	7.28E-03	2.03E-04	1.17E-03	0						
3665	0.0121	9.42E-03	2.40E-03	5.83E-04	0						
3670	0.012	5.88E-02	1.76E-03	1.94E-04	0						
3675	0.012	2.51E-01	1.30E-04	5.83E-04	0						
3680	0.0119	6.60E-02	2.20E-04	5.83E-04	0						
3685	0.0118	2.35E-02	1.57E-03	5.83E-04	0						
3690	0.0117	1.53E-02	1.77E-03	5.83E-04	0						
3695	0.0117	1.24E-02	2.53E-04	3.89E-04	0						
3700	0.0116	3.59E-03	2.53E-04	3.89E-04	0						
3705	0.0116	3.55E-03	6.82E-04	3.89E-04	0						
3710	0.0115	1.43E-02	1.94E-03	3.89E-04	0						
3715	0.0115	1.59E-02	6.30E-04	3.89E-04	0						
3720	0.0114	6.53E-03	1.11E-04	1.94E-04	0						
3725	0.0114	6.53E-03	6.92E-04	1.94E-04	0						
3730	0.0113	1.32E-02	9.81E-04	1.94E-04	0						
3735	0.0113	2.89E-02	6.89E-04	1.94E-04	0						
3740	0.0112	1.88E-02	3.09E-04	1.94E-04	0						
3745	0.0112	8.34E-03	4.29E-04	1.94E-04	0						
3750	0.011	1.16E-02	5.76E-04	1.94E-04	0						
3755	0.011	1.90E-02	2.38E-04	0.00E+00	0						
3760	0.0109	2.03E-02	9.94E-05	0.00E+00	0						
3765	0.0109	2.11E-02	6.30E-04	0.00E+00	0						
3770	0.0108	1.63E-02	2.96E-04	0.00E+00	0						
3775	0.0108	1.25E-02	3.09E-04	0.00E+00	0						
3780	0.0107	7.53E-03	3.37E-04	0.00E+00	0						
3785	0.0107	2.12E-02	4.04E-04	0.00E+00	0						
3790	0.0106	3.16E-02	5.36E-04	0.00E+00	0						
3795	0.0106	1.31E-02	6.57E-04	0.00E+00	0						
3800	0.0105	3.75E-03	7.68E-04	0.00E+00	0						
3805	0.0105	7.66E-03	4.88E-04	0.00E+00	0						
3810	0.0104	2.44E-02	3.87E-04	0.00E+00	0						
3815	0.0104	3.22E-02	2.99E-04	0.00E+00	0						
3820	0.0103	5.12E-03	5.26E-04	0.00E+00	0						
3825	0.0103	3.42E-03	2.10E-04	0.00E+00	0						
3830	0.0102	7.85E-03	1.63E-04	0.00E+00	0						
3835	0.0102	3.15E-02	4.26E-04	0.00E+00	0						
3840	0.0101	6.62E-03	1.12E-03	0.00E+00	0						
3845	0.0101	4.03E-03	2.42E-03	0.00E+00	0						
3850	0.01	3.37E-03	2.53E-03	0.00E+00	0						
3855	0.01	7.58E-03	2.37E-03	0.00E+00	0						
3860	0.0099	1.01E-02	6.30E-03	0.00E+00	0						
3865	0.0099	6.21E-03	1.09E-02	0.00E+00	0						
3870	0.0098	3.18E-03	1.70E-02	0.00E+00	0						
3875	0.0098	6.74E-03	2.02E-02	0.00E+00	0						
3880	0.0097	4.34E-03	2.38E-02	0.00E+00	0						
3885	0.0097	5.03E-03	2.23E-02	0.00E+00	0						