



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA SUBSIDENCIA EN NUBES
ESTRATOCÚMULOS MEDIANTE SIMULACIÓN LES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

JUAN CRISTÓBAL DÍAZ PINTO

PROFESORA GUÍA:
Mónica Zamora Zapata

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
Álvaro Valencia Musalem
Benjamin Herrmann Priesnitz

SANTIAGO DE CHILE
2024

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA SUBSIDENCIA EN NUBES ESTRATOCÚMULOS MEDIANTE SIMULACIÓN LES

La meteorología costera se caracteriza por presentar diferentes factores que afectan la vida de las nubes como, por ejemplo: la temperatura, la humedad, la brisa marina, el perfil de velocidad del viento y la subsidencia; es este último el cual abordará este trabajo. La subsidencia corresponde a un descenso de gran escala del aire hacia niveles atmosféricos inferiores característico de las latitudes medias, esta dispersión limita el crecimiento vertical de las nubes favoreciendo la presencia de estratocúmulos. Los estratocúmulos son nubes compactas de agua con tonalidades grises a blanquecinas que se caracterizan por ser grandes masas redondeadas, generalmente en grupos, alineadas o apelotonadas que se presentan a bajas altitudes, por debajo de los 2,5 km.

Este trabajo tiene como objetivo principal estudiar el efecto que tiene sobre las nubes estratocúmulos, variando la subsidencia diaria costera mediante simulaciones LES (Large - Eddy Simulations) esto mediante un estudio sobre la subsidencia que tendrá la finalidad de establecer las condiciones y variables con cuales se trabajó y las cuales corresponde a obtener datos a una presión de 700 [mbar] dado que a esta presión se desarrolla la capa límite planetaria, analizar la cantidad de agua líquida, la altura de inversión y la fracción de nube, y obtener valores de divergencia dado que es un factor que se relaciona directamente con la subsidencia; con esto se generaron dos casos de estudios para observar el comportamiento que deben tener los datos en un caso real.

Se procedió a obtener valores reales de divergencia mediante el sistema de reanálisis de datos ERA5 para tres ciudades de estudio, Arica, Antofagasta y San Diego (E.E.U.U.), dado que en estas se presentan las nubes estratocúmulos, con esto se fijó un punto en tierra firme y otro punto a 10 km de la costa más cercana al primer punto para cada ciudad, y se extrajeron diferentes valores de divergencia para obtener un rango de trabajo, para posteriormente, agregarlos al programa de simulación LES.

Finalmente, se presentan los diferentes resultados obtenidos para cada caso realizado, donde se observó que para las ciudades de Arica y Antofagasta se presenta un comportamiento similar, teniendo periodos de tiempo donde se alcanza el mayor valor para la ubicación geográfica, correspondiendo al rango de 12:00-18:00 horas, mientras que el valor más bajo se obtuvo para la ciudad de San Diego siendo de $7,5903 \times 10^{-7}$ [1/seg] para el cual las variables estudiadas no presentaban un cambio significativo en sus valores, estableciéndose que a divergencias de ese orden de magnitud no se influye significativamente en el desarrollo de una nube, mientras mayores valores este valor las propiedades disminuirán, lo que impedirá su formación o provocará que se disipen rápidamente.

*Solo con el corazón se puede ver bien;
lo esencial es invisible a los ojos.*

El Principito

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por todo el apoyo que me dieron todos estos años, toda la paciencia que me tuvieron, sobretodo en mis momentos de mal humor, que fueron muchos, a mi madre Marisol, mi padre Guillermo y mi hermano menor Jorge que son con quien vivo y pudieron presenciar en primera fila todo lo que viví y sufrí, gracias por todo el cariño entregado. También, agradecer a mi hermano mayor Felipe, mi sobrina Amaru y mi cuñada Francisca, que a pesar de vivir lejos, siempre estuvieron ahí dándome ánimos de lejos y dándome tantas alegrías cada vez que podían.

Por otro lado, como no voy a mencionar a las personas que me conocí en la universidad y que siempre voy a llevar en el corazón, para comenzar, Sofí y Tiffa, ambas las conocí en primer año ya que compartimos la misma sección, a pesar de que no soy el más simpático y sociable cuando conozco gente por primera vez, me supieron aguantar y conocer bien. A mi amigo industrial Esteban, quien iba a pensar que inglés nos uniría y nos volveríamos grandes amigos, gracias por aceptarme.

También, feliz y agradecido de la gente que conocí cuando entré a mecánica, Panchi quien me apoyó desde el día uno, siempre dándonos apoyo mutuamente y recordándonos que éramos capaces de todo lo que nos propusiéramos, y bueno, ayudándome hasta este momento y tener la paciencia de explicarme todo lo que te preguntaba. Nacho y Andai, que conocí gracias a la Panchi, aunque los conocí cuando volvimos a la presencialidad después de la pandemia, también les agradezco por el apañe, las risas y los buenos momentos, y su preocupación, que sé que puedo ser alguien muy especial y difícil.

Me falta agradecer a dos grandes amigos que conozco desde hace mucho tiempo, para comenzar a mi amigo Hugo, que nos conocemos desde el colegio, que a sido un pilar fundamental para mí ya que ha estado siempre para mí en mis buenos y malos momentos, que se me preocupó por mí cuando estuve mal y que es uno de los pocos que me conoce realmente, gracias por tanta paciencia, te debo la vida. Asimismo, mi gran amiga Cony, como no te voy agradecer por todo, nos vemos como dos o tres veces al año, pero siempre hemos estado cuando nos necesitamos, esas videollamadas de estudio que terminaban en sesiones de chismes, todas esas veces que me ayudaste a revisar mis informes y trabajos porque a mí no se me da, mi lado humanista no sirve.

Finalmente, agradezco a mi perro, que fue más que una mascota para mí, fue mi vida, mi todo, Melqui o como te decía con cariño mi puchinguito, siempre estuviste conmigo todo este tiempo, siempre que me desvelada ahí estabas sentado al lado mío hasta que me fuera acostar, las veces que me acompañaste cuando me sentía mal y me dabas tu amor incondicional, aunque te fuiste el año pasado te seguiré llevando en el corazón.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. Antecedentes generales	3
3.1. Capa límite planetaria	3
3.2. Nubes estratocúmulos	5
3.3. Celda de Hadley	6
3.4. Subsistencia	7
3.5. ERA5	8
3.6. Large - Eddy Simulation (LES)	9
3.7. Principales variables a estudiar	11
3.7.1. Cantidad de agua líquida (LWP)	11
3.7.2. Altura de inversión	11
3.7.3. Fracción de nube	12
3.7.4. Energía cinética	13
3.7.5. Velocidad vertical	13
3.8. Caso estudiado	14
4. Metodología	17
4.1. Estudiar y comprender el fenómeno de la subsidencia	17
4.2. Definir los parámetros necesarios para generar el caso de estudio	18
4.3. Obtener diferentes valores de divergencia mediante ERA5	18
4.3.1. Ciudad de Arica	19
4.3.2. Ciudad de Antofagasta	20
4.3.3. Ciudad de San Diego (E.E.U.U.)	21
4.4. Analizar y comparar los resultados obtenidos	22
5. Resultados y discusión	23
5.1. Resultados del caso de prueba	23
5.2. Resultados obtenidos en ERA5	26
5.2.1. Ciudad de Arica	26
5.2.2. Ciudad de Antofagasta	28
5.2.3. Ciudad de San Diego (E.E.U.U.)	30
5.3. Resultados obtenidos en LES	32

6. Conclusiones	36
Bibliografía	38
Anexos	41
A. ERA5	41
A.1. Coordenadas de cada punto de estudio	41
B. Códigos utilizados	41
B.1. ERA5	41
B.2. LES	54

Índice de Tablas

3.1.	Característcas generales de ERA5. [7]	8
3.2.	Configuración de cuadrícula y tiempo LES. [9]	10
3.3.	Configuración de variables físicas LES. [9]	10
5.1.	Valores de divergencia obtenidas en Arica. [Elaboración Propia]	27
5.2.	Valores de divergencia obtenidas en Antofagasta. [Elaboración Propia]	29
5.3.	Valores de divergencia obtenidas en San Diego (E.E.U.U.). [Elaboración Propia]	31
A.1.	Coordenadas de cada punto de estudio. [Elaboración Propia]	41

Índice de Ilustraciones

3.1.	Capa Límite Planetaria. [1]	3
3.2.	Estratocúmulos. [3]	5
3.3.	Celda de Hadley. [5]	6
3.4.	Subsidencia. [6]	7
3.5.	Altura de inversión. [10]	12
3.6.	Cantidad de agua líquida (LWP). [11]	14
3.7.	Cantidad de agua líquida para diferentes subsidencias. [11]	15
3.8.	(a) Altura de inversión (z_i) (b) Velocidad de arrastre. [11]	16
4.1.	Ubicaciones estudiadas en Arica. [Google Earth]	19
4.2.	Ubicaciones estudiadas en Antofagasta. [Google Earth]	20
4.3.	Ubicaciones estudiadas en San Diego (E.E.U.U.). [Google Earth]	21
4.4.	San Diego Mar a 50 km de la costa. [Google Earth]	21
5.1.	Cantidad de agua líquida - Caso de Prueba. [Elaboración Propia]	23
5.2.	Altura de inversión - Caso de Prueba. [Elaboración Propia]	24
5.3.	Fracción de Nube - Caso de Prueba. [Elaboración Propia]	24
5.4.	Energía cinética - Caso de Prueba. [Elaboración Propia]	25
5.5.	Velocidad vertical - Caso de Prueba. [Elaboración Propia]	25
5.6.	Divergencia promedio según la hora del día para Arica. [Elaboración Propia]	26
5.7.	Divergencia diaria para Arica. [Elaboración Propia]	26
5.8.	Divergencia promedio mensual para Arica. [Elaboración Propia]	27
5.9.	Divergencia promedio según la hora del día para Antofagasta. [Elaboración Propia]	28
5.10.	Divergencia diaria para Antofagasta. [Elaboración Propia]	28
5.11.	Divergencia promedio mensual para Antofagasta. [Elaboración Propia]	29
5.12.	Divergencia promedio según la hora del día para San Diego (E.E.U.U.). [Elaboración Propia]	30
5.13.	Divergencia diaria para San Diego (E.E.U.U.). [Elaboración Propia]	30
5.14.	Divergencia promedio mensual para San Diego (E.E.U.U.). [Elaboración Propia]	31
5.15.	Cantidad de agua líquida - Caso de Estudio. [Elaboración Propia]	32
5.16.	Altura de inversión - Caso de Estudio. [Elaboración Propia]	33
5.17.	Fracción de Nube - Caso de Estudio. [Elaboración Propia]	33
5.18.	Energía cinética - Caso de Estudio. [Elaboración Propia]	34
5.19.	Velocidad vertical - Caso de Estudio. [Elaboración Propia]	34

Capítulo 1

Introducción

Las nubes estratocúmulos son un tipo común de nubes que se forman en la capa límite planetaria, a bajas altitudes. Estas nubes juegan un papel importante en el clima y la meteorología, ya que afectan la distribución de la radiación solar, la temperatura y la dinámica atmosférica. La subsidencia, que es el descenso del aire en la atmósfera, es un proceso clave que influye en la formación y evolución de las nubes estratocúmulos.

El estudio del efecto de la variación de la subsidencia en las nubes estratocúmulos es fundamental para comprender mejor los procesos atmosféricos y mejorar las predicciones del clima. La simulación LES (Large - Eddy Simulation) es una herramienta poderosa utilizada en la investigación en el área del estudio de fluidos para modelar y analizar el comportamiento de las nubes y la interacción entre la atmósfera y la superficie terrestre.

Este trabajo busca investigar cómo la variación de la subsidencia afecta la estructura, la dinámica y las propiedades de las nubes estratocúmulos. La simulación LES permite recrear condiciones atmosféricas realistas y controlar la intensidad y distribución espacial de la subsidencia en la capa límite planetaria. Esto brinda la oportunidad de examinar cómo estos cambios pueden influir en la altura de las nubes, la distribución de las gotas de agua, la radiación solar y otros procesos asociados.

Al comprender mejor la relación entre la subsidencia y las nubes estratocúmulos, se puede mejorar la capacidad para predecir el clima y comprender los fenómenos climáticos locales y globales.

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivo general

Estudiar el efecto que tiene sobre las nubes estratocúmulos, variar la subsidencia diaria costera mediante simulaciones LES.

2.2. Objetivos específicos

- Estudiar y comprender el fenómeno de la subsidencia.
- Definir los parámetros necesarios para generar el caso de estudio.
- Obtener diferentes valores realistas de divergencia para zonas costeras de Chile y California mediante ERA5.
- Simular los valores obtenidos en LES
- Analizar y comparar los resultados obtenidos.

Capítulo 3

Antecedentes generales

3.1. Capa límite planetaria

La capa límite planetaria (PBL en inglés) es una capa de la atmósfera terrestre que se encuentra en contacto directo con la superficie de la Tierra. Es la parte más cercana a la superficie y se extiende desde la superficie hasta una altura que varía, generalmente entre 1 y 3 kilómetros, aunque puede ser más baja o más alta dependiendo de varios factores.

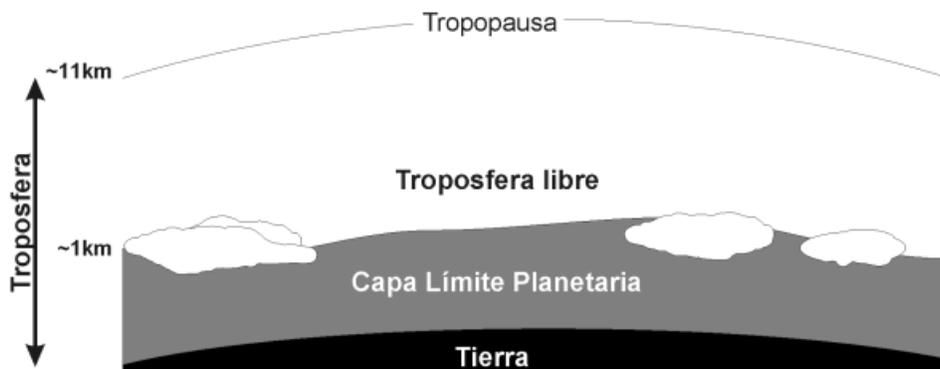


Figura 3.1: Capa Límite Planetaria. [1]

La capa límite planetaria se caracteriza por la turbulencia y la mezcla vertical de propiedades atmosféricas como temperatura, humedad y velocidad del viento. Estas propiedades pueden variar rápidamente en el espacio y el tiempo dentro de la capa límite.

Algunas características clave de la capa límite planetaria incluyen [2]:

- **Altura de la capa límite:** La altura de la capa límite depende de varios factores, como la rugosidad de la superficie y la estabilidad atmosférica. En áreas con terreno montañoso o superficies rugosas, suele ser más delgada y estar más cerca de la superficie. Por el contrario, en áreas con superficies más suaves, como océanos o planicies extensas, puede ser más alta.

- **Convección y mezcla vertical:** La convección es un proceso importante en la capa límite planetaria. Durante el día, la radiación solar calienta la superficie terrestre y provoca el ascenso del aire caliente cerca de la superficie. Esto da lugar a corrientes ascendentes térmicas que mezclan el aire en la capa límite. Durante la noche, la superficie se enfría y la convección disminuye, lo que hace que la capa límite sea más estable y la mezcla vertical sea menos pronunciada.
- **Gradiente vertical de velocidad del viento:** En la capa límite planetaria, la velocidad del viento varía con la altura. Cerca de la superficie, el rozamiento con la superficie terrestre disminuye la velocidad del viento, lo que se conoce como capa de rozamiento. Por encima de esta capa, la velocidad del viento tiende a aumentar con la altura hasta alcanzar los vientos libres de la atmósfera libre.
- **Inversiones térmicas:** En ocasiones, se pueden formar inversiones térmicas dentro de la capa límite planetaria. Una inversión térmica es una capa de aire en la que la temperatura aumenta con la altura en lugar de disminuir. Estas inversiones pueden limitar la mezcla vertical de propiedades atmosféricas y pueden resultar en la acumulación de contaminantes cerca de la superficie.
- **Influencia en la calidad del aire y contaminantes:** La capa límite planetaria desempeña un papel importante en la dispersión de contaminantes. Durante la mezcla vertical, los contaminantes liberados en la superficie pueden dispersarse y diluirse en la atmósfera. Sin embargo, en condiciones de inversión térmica, los contaminantes pueden quedar atrapados cerca de la superficie, lo que puede resultar en problemas de calidad del aire.
- **Variabilidad espacial y temporal:** La capa límite planetaria puede variar espacialmente y temporalmente. Las características del terreno, como la rugosidad de la superficie y la vegetación, afectan la altura y la intensidad de la capa límite. Además, las condiciones meteorológicas cambiantes, como la radiación solar, la dirección y velocidad del viento, y la estabilidad atmosférica, pueden influir en las características de la capa límite.

3.2. Nubes estratocúmulos

Los estratocúmulos son nubes bajas (usualmente dentro del primer kilómetro de atmósfera), guardando muchas similitudes con los estratos. Aunque también mantienen significativas diferencias: los estratocúmulos poseen estructuras claramente identificables en su cima, esa estructura, normalmente celular, se asocia a movimientos convectivos dentro de la nube, llegando a observarse estructuras de mesoescala como en las calles de nubes, relacionadas con determinadas condiciones de viento a gran escala. Los estratocúmulos suelen ocupar la parte superior de la capa límite atmosférica y cuya fuente para el movimiento y mezcla es el enfriamiento radiativo en la cima de esa capa nubosa.



Figura 3.2: Estratocúmulos. [3]

Sobre el océano los estratocúmulos pueden llegar a cubrir extensiones horizontales de hasta 1000 km. Verticalmente pueden medir desde los 100 m hasta varios cientos de metros. Una Capa Límite Cubierta por Nubes, CTBL por sus siglas en inglés, simple de estratocúmulos está formada por una capa sin nubes junto al suelo y otra capa nubosa por encima, que llega normalmente hasta una inversión térmica o de subsidencia. Ambas capas suelen estar acopladas mediante la mezcla turbulenta, con mucha frecuencia la estructura vertical real es más compleja, estando formada por varias capas de nubes, y donde la mezcla turbulenta no alcanza el suelo, por la existencia de diferentes grados de desacople entre capas.[4]

3.3. Celda de Hadley

La Celda de Hadley es un importante concepto en la meteorología y la climatología que describe un patrón de circulación atmosférica a gran escala en la Tierra. Opera en las regiones tropicales y se extiende desde aproximadamente el Ecuador hasta los 30 grados de latitud en ambos hemisferios. Comienza en el ecuador, donde la radiación solar es más intensa y calienta el aire cerca de la superficie terrestre, a medida que el aire se calienta, se vuelve más ligero y tiende a ascender.

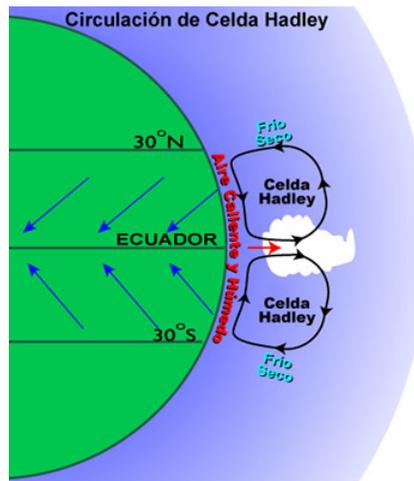


Figura 3.3: Celda de Hadley. [5]

Este ascenso del aire caliente y húmedo cerca del ecuador crea una zona de baja presión conocida como la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés). A medida que el aire asciende, se enfría y libera su humedad en forma de lluvia, generando así una gran cantidad de precipitaciones en estas áreas tropicales.

Mientras este aire caliente y húmedo asciende, se desplaza hacia latitudes más altas en la atmósfera superior alejándose del ecuador. Este aire se comienza a enfriar y a descender hacia la superficie terrestre en las latitudes subtropicales, alrededor de los 30 grados de latitud, este proceso se conoce como subsidencia.

Durante la subsidencia en la Celda de Hadley, el aire se calienta adiabáticamente y se vuelve más seco. Como resultado, se inhibe la formación de nubes y las precipitaciones son escasas en estas áreas. Debido a esto, las latitudes subtropicales son conocidas por tener climas más secos y desérticos.

La subsidencia en la Celda de Hadley también genera los vientos alisios, que son vientos persistentes que soplan desde el este hacia el oeste en las regiones tropicales. Estos vientos son causados por la diferencia de presión entre la Zona de Convergencia Intertropical y las regiones subtropicales donde ocurre la subsidencia.

3.4. Subsistencia

La subsistencia es un proceso en el que una masa de aire desciende verticalmente en la atmósfera. Ocurre cuando el aire en altitudes superiores se vuelve más denso y pesado que el aire que se encuentra debajo de él, lo que lo impulsa hacia abajo. Este proceso puede ser causado por diferentes factores, como sistemas de alta presión, corrientes descendentes asociadas a tormentas o el efecto de las corrientes en chorro.

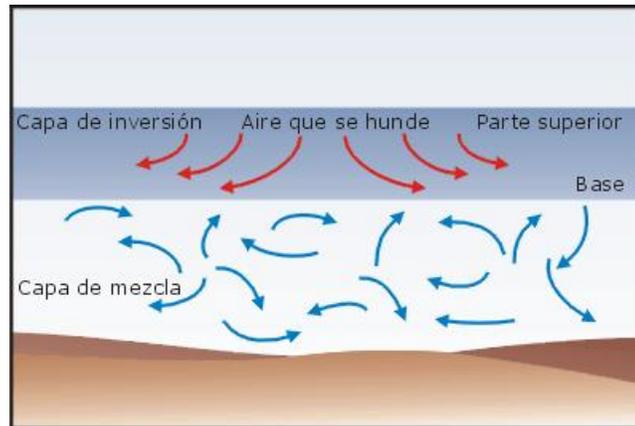


Figura 3.4: Subsistencia. [6]

Cuando la subsistencia ocurre en una nube, puede tener varios efectos. Uno de ellos es que el aire que desciende se calienta adiabáticamente a medida que se comprime debido al aumento de la presión atmosférica. Esto causa un aumento en la temperatura del aire descendente. A medida que el aire se calienta, su capacidad para retener la humedad aumenta y, como resultado, la humedad relativa disminuye.

Además, la subsistencia de la Celda de Hadley trae consigo, en algunas regiones donde la superficie es más fría, un fenómeno conocido como inversión térmica. Una inversión térmica es un cambio en la temperatura atmosférica en el que una capa de aire caliente se encuentra por encima de una capa de aire más frío. Esto crea una especie de “tapa” sobre la superficie, impidiendo que el aire ascienda y formando una especie de barrera para el desarrollo de nubes convectivas.

Debido a que el aire descendente se vuelve más cálido y más seco durante la subsistencia, tiene menos capacidad para formar nubes. Como resultado, se pueden observar cielos despejados o parcialmente nublados en áreas donde ocurre la subsistencia.

En cuanto a los efectos climáticos, la subsistencia contribuye a la estabilidad atmosférica. Esto significa que hay menos posibilidades de desarrollo de nubes de gran desarrollo vertical, como las nubes de tormenta. En cambio, se pueden observar condiciones más estables, con menos probabilidades de precipitación y condiciones de tiempo más tranquilo.

3.5. ERA5

ERA5 es un sistema de reanálisis climático desarrollado por el European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Se trata de un modelo global de alta resolución que combina observaciones atmosféricas y terrestres con un sofisticado modelo numérico para producir estimaciones coherentes y detalladas de variables climáticas en todo el mundo.

Estos reanálisis climatológicos, son el resultado de la combinación de observaciones meteorológicas globales de diferentes fuentes, como pueden ser estaciones convencionales en tierra, marítimas y aéreas, radiosondeos, imágenes satelitales, y datos meteorológicos modelados, obtenidos mediante predicciones numéricas. Esta combinación es la estimación de las condiciones meteorológicas para un instante de tiempo en el pasado, y para un determinado punto sobre la Tierra.

Los parámetros en alta resolución se definen sobre una grilla gaussiana reducida, con resolución espacial de 0.28125° , que corresponde aproximadamente a 31 km. Los parámetros atmosféricos son producidos en 137 niveles verticales, este es el formato original de parámetros generado por ECMWF, y se conocen como parámetros en los niveles del modelo o Model Level.

A partir de los parámetros Model Level, ERA5 genera parámetros atmosféricos interpolados en 37 niveles verticales de presión atmosférica total: 1000, 975, 950, 925, 900, 875, 850, 825, 800, 775, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 225, 200, 175, 150, 125, 100, 70, 50, 30, 20, 10, 7, 5, 3, 2 y 1 hPa, conocidos como parámetros en niveles de presión o Pressure Level.

Además de los parámetros atmosféricos del tipo Model Level y Pressure Level, ERA5 produce un tercer conjunto de gran importancia, conocidos como parámetros Single Level. Se trata de parámetros de valor único para cada punto geográfico de la grilla. Desde un punto de vista espacial, estos parámetros están definidos sólo en dos dimensiones. La Tabla 1 presenta un resumen de las características generales de ERA5.

Tabla 3.1: Características generales de ERA5. [7]

Características ERA5	
Periodo	1950 - a la fecha
Resolución horizontal	31 km, $0,28125^\circ$ grilla gaussiana
Resolución vertical (Model Level)	135 niveles
Resolución vertical (Pressure Level)	37 niveles
Resolución temporal	1 hora
Asimilación de datos	4D - VAR
Modelo ECMWF	CY41R2

Un aspecto adicional que es importante mencionar respecto a los parámetros de ERA5 es que, en general, son instantáneos, es decir, el año, mes, día, y hora definidos. Sin embargo, cada parámetro representa el valor promedio del mismo para cada elemento de la grilla, por tanto, no es capaz de representar la variabilidad en escalas menores a estas dimensiones. Esto es importante tener en cuenta a la hora de comparar medidas obtenidas con instrumentos en tierra que tengan mayor resolución temporal que, normalmente, describe muy bien la variabilidad de un parámetro en una escala espacial mucho menor.

3.6. Large - Eddy Simulation (LES)

La simulación de grandes escalas es una técnica utilizada en la dinámica de fluidos computacional (CFD) para simular el flujo de fluidos alrededor de objetos complejos o en condiciones turbulentas. Es una técnica numérica que resuelve directamente las escalas de flujo más grandes en un dominio, mientras modela las escalas más pequeñas de manera subgrid. Este software genera un modelo tridimensional, con tamaños de rejillas muy pequeños (10-20 m en la vertical y 25-100 m en la horizontal), que debido a su alta resolución es capaz de describir explícitamente las estructuras turbulentas más energéticas presentes en las nubes. También, permite la localización del enfriamiento radiativo de onda larga en la cima de los estratocúmulos, pues sus dimensiones características son similares a la resolución vertical de estos modelos. Pero incluso con estas escalas de modelización existen una serie de procesos que no se pueden resolver, como aquellos que tienen lugar cerca de las fronteras de la capa límite, donde los movimientos son de menor escala que la resolución del modelo. [8]

Aún así, los modelos generados se muestran como una herramienta muy útil para analizar los principales procesos en una capa límite con nubes, permite calcular magnitudes muy difíciles de medir experimentalmente, como flujos turbulentos, covarianzas entre variables, o términos turbulentos de orden superior, y con una resolución espacial regular y de muy alta precisión. No obstante, la obtención y análisis de estos resultados estadísticos requiere de una interpretación correcta, esta información obtenida se puede usar como base de datos para contrastar diferentes estudios y así corroborar o descartar sus resultados.

A continuación se explica brevemente los pasos que se realizan en las simulaciones:

- **Resolución de las escalas grandes:** Se resuelven las estructuras turbulentas de mayor escala presentes en el flujo, estas suelen ser visibles a través de las dimensiones del dominio de simulación.
- **Modelado subgrid:** dado que no se resuelven todas las escalas del flujo, se necesita este modelo para poder estimar los efectos de las escalas más pequeñas que no son obtenidos por la resolución de la malla. El modelo utilizado por LES es el modelo Smagorinsky, que estima la tensión de subgrid basada en el gradiente de velocidad del filtro.
- **Funciones de filtrado:** Se aplica un filtro espacial para separar las escalas grandes y pequeñas del flujo, este filtro elimina las estructuras de escala pequeña y solo deja las componentes de escala grandes para ser resueltas.

- **Discretización numérica:** La ecuación de Navier-Stokes y otras ecuaciones que rigen el flujo se discretizan en el espacio y el tiempo para resolverlas numéricamente, esto implica dividir el dominio del flujo en una malla o cuadrícula y aplicar métodos numéricos para resolver las ecuaciones en cada punto de la malla.

La configuración por defecto del código utilizado para esta trabajo se presenta a continuación:

Tabla 3.2: Configuración de cuadrícula y tiempo LES. [9]

Variable	Valor	Descripción
expnme	-	Nombre del experimento
filprf	x	Prefijo de archivo para usar en la construcción de archivos de salida
nxp	132	Número total de puntos en x
nyp	132	Número total de puntos en y
nzp	105	Número total de puntos en z
deltax	35.0 m	Espaciado en la dirección x
deltat	35.0 m	Espaciado en la dirección y
deltaz	17.5 m	Espaciado en la dirección z
dzrat	1.02	Relación de estiramiento de la rejilla
dzmax	1200 m	Altura a la que comienza el estiramiento de la rejilla
igrdtyp	1	Parámetro de control para seleccionar la cuadrícula vertical
dtlong	10 seg	Paso de tiempo máximo
hfilin	test.	Nombre del archivo de historial de entrada
timax	18000 seg	Tiempo final de simulación
wctime	-	Hora del reloj para interrumpir la simulación.
nfpt	5	Número de niveles en la capa superior
distim	300 seg	Tiempo mínimo de relajación en la capa
naddsc	0	Número de escalares adicionales
runtyp	INITIAL	Tipo de funcionamiento (INITIAL o HISTORY)

Tabla 3.3: Configuración de variables físicas LES. [9]

Variable	Valor	Descripción
iradtyp	0	Parámetro de control para seleccionar el modelo de radiación
CCN	150 x 10 ⁶	Proporción de mezcla de gotas de nube
level	0	0=nivel termodinámico, 1=cbl seco, 2=cbl húmedo (sin lluvia), 3=cbl húmedo (con lluvia), 4, 5= microfísica del hielo
corflg	false	Aceleración de coriolis (true / false)
radfrq	0	Intervalo de actualización de radiación
strtim	0	GMT de la hora del modelo
cntlat	31.5° N	Modelo de latitud central
case_name	astex	Especificar el nombre del caso (rico, astex, bomex)
lsvarflg	false	Forzamientos a gran escala del archivo lscale_in
div	-	Divergencia
umean	0	Velocidad media U (restada durante los cálculos)
vmean	0	Velocidad media V (restada durante los cálculos)
th00	288	Temperatura del estado básico (restada durante cálculos)
sst	292 K	Temperatura de la superficie del mar
ubmin	0.20	Mínimo u para el calculo de u*
zrough	0.1	Altura de rugosidad del momento
dthcon	100 Wm ⁻²	Gradiente de temperatura superficial (isfcflg=1) o flujo de calor superficial (itsflg=0)
drtcon	0 Wm ⁻²	Gradiente de humedad superficial (isfcflg=1) o flujo de calor latente superficial (itsflg=0)

3.7. Principales variables a estudiar

3.7.1. Cantidad de agua líquida (LWP)

Cantidad de agua líquida o LWP por sus siglas en inglés, es una medida que describe la cantidad total de agua líquida contenida en una columna vertical de la atmósfera sobre una unidad de área horizontal, es una medida importante en la investigación de nubes y precipitación, ya que proporciona información sobre la cantidad de agua líquida disponible en las nubes y su distribución vertical. Este parámetro es particularmente relevante para comprender los procesos de formación de nubes, la dinámica de la precipitación y la interacción entre las nubes y la radiación solar.

La subsidencia puede generar condiciones atmosféricas más estables al calentar el aire descendente, la atmósfera tiende a limitar la formación y el desarrollo vertical de las nubes convectivas, la subsidencia puede reducir el LWP al disminuir la cantidad de agua líquida que se eleva a altitudes más altas en forma de nubes. También, puede provocar un descenso del aire seco desde altitudes superiores hacia la superficie terrestre, este proceso puede resultar en una disminución de la humedad relativa en las capas bajas de la atmósfera, lo que a su vez puede reducir la cantidad de vapor de agua disponible para la formación de nubes. Otro punto a destacar, es que puede inhibir el ascenso vertical del aire necesario para la formación de nubes convectivas, si el aire descendente es lo suficientemente cálido y seco, puede suprimir la convección al crear una barrera física para el ascenso del aire húmedo.

3.7.2. Altura de inversión

La altura de inversión es una capa de la atmósfera donde la temperatura aumenta con la altura en lugar de disminuir, lo que es contrario a la tendencia normal, puede variar según las condiciones meteorológicas y la ubicación geográfica, además de estar asociada con diferentes procesos atmosféricos, como la subsidencia, la advección de aire cálido o la presencia de capas de estabilidad.

La altura de inversión puede afectar significativamente la formación y el comportamiento de las nubes, ya que puede actuar como una barrera que limita su crecimiento vertical o puede influir en la estabilidad atmosférica. Por ejemplo, si la altura de inversión está ubicada a una altitud relativamente baja, puede restringir el crecimiento vertical de las nubes convectivas, lo que resulta en nubes de menor desarrollo vertical. Por otro lado, si está ubicada a una altitud más alta, puede permitir que las nubes crezcan más verticalmente antes de ser restringidas, lo que podría conducir a la formación de nubes de mayor desarrollo vertical.

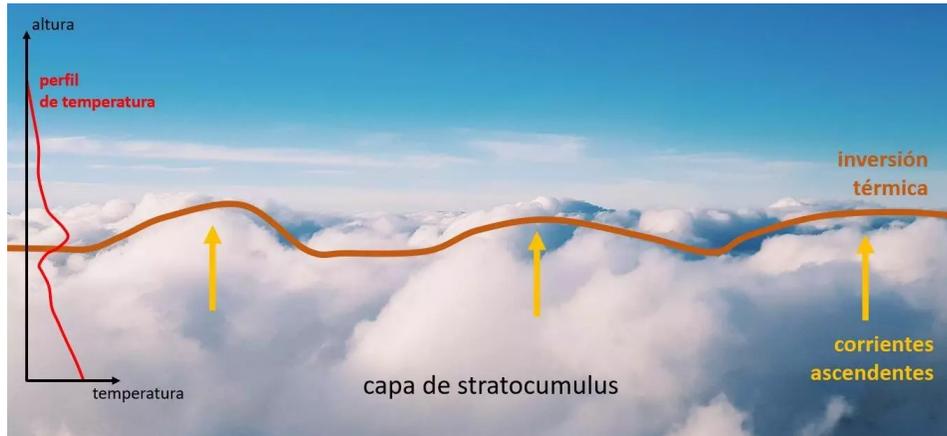


Figura 3.5: Altura de inversión. [10]

La subsidencia puede contribuir a la formación de inversiones térmicas al calentar el aire que desciende, a medida que el aire desciende y se comprime, su temperatura aumenta debido a la compresión adiabática, esta compresión puede llevar a la formación de una capa de aire más cálido en altitudes más bajas, lo que resulta en una inversión térmica. La altura a la que ocurre esta inversión puede estar relacionada con la magnitud y la profundidad de la subsidencia. Puede inducir una mayor estabilidad en la atmósfera al suprimir la convección y frenar el ascenso vertical del aire, esta estabilización puede contribuir a la formación y mantenimiento de inversiones térmicas. También, puede traer aire más seco desde altitudes superiores hacia niveles más bajos de la atmósfera, afectando la distribución vertical de la humedad, lo que a su vez puede influir en la ubicación y la altura de la inversión térmica.

3.7.3. Fracción de nube

Se refiere a la proporción del cielo cubierto por nubes en un determinado momento y lugar. Se expresa comúnmente como un valor entre 0 y 1. Es una medida importante para describir las condiciones meteorológicas y se utiliza ampliamente en la observación y el registro del tiempo atmosférico, tiene implicaciones significativas en la radiación solar entrante, la temperatura atmosférica, la formación de precipitación y otros procesos meteorológicos. Por ejemplo, un cielo despejado permite una mayor entrada de radiación solar, lo que puede resultar en temperaturas más altas, mientras que un cielo completamente nublado puede bloquear gran parte de la radiación solar, lo que lleva a temperaturas más frescas.

La subsidencia generalmente está asociada con condiciones atmosféricas más estables, ya que el aire descendente tiende a inhibir la convección y el desarrollo vertical de las nubes. En áreas donde la subsidencia es dominante, es común observar cielos despejados o con menos nubes, esto se debe a que actúa como un mecanismo de supresión de la formación de nubes convectivas. También, puede traer aire más seco desde altitudes superiores hacia la superficie terrestre, resultando en una disminución de la humedad relativa en las capas bajas de la atmósfera, lo que a su vez puede reducir la formación y la persistencia de nubes. La subsidencia puede suprimir la convección al crear una barrera física para el ascenso del aire húmedo limitando la formación de nubes convectivas, especialmente en áreas donde la subsidencia es dominante.

3.7.4. Energía cinética

Se refiere a la energía asociada con el movimiento de las partículas de agua que componen las nubes, así como al movimiento macroscópico de la nube en sí misma. Esta juega un rol fundamental en el proceso convectivo ya que las corrientes ascendentes y descendentes dentro de una nube, son un componente importante de su movimiento vertical. Cuando el aire más cálido y húmedo asciende, puede llevar consigo gotas de agua en forma de vapor, a medida que estas gotas ascienden, se enfrían y condensan, liberando calor latente y energía cinética. También, influye en el movimiento horizontal de las nubes, la energía cinética puede variar según la velocidad y dirección del viento que la transporte, el viento puede acelerar o desacelerar una nube, aumentando o disminuyendo su energía cinética en consecuencia.

La subsidencia afecta el movimiento vertical del aire y, por lo tanto, la distribución de la energía cinética en la atmósfera, esta puede suprimir la convección al crear una barrera física para el ascenso del aire húmedo y, por lo tanto, limitar la cantidad de energía cinética asociada con las corrientes de convección ascendente, También, puede generar condiciones atmosféricas más estables al calentar el aire descendente, tiende a inhibir la formación de nubes convectivas y otros procesos turbulentos que generan energía cinética.

3.7.5. Velocidad vertical

Se refiere a la velocidad a la que el aire se mueve verticalmente hacia arriba o hacia abajo en la atmósfera, es importante para entender la formación y evolución de las nubes, así como para predecir la posibilidad de precipitación. Esta permite la formación de nubes convectivas ya que cuando el aire cálido y húmedo asciende, se enfría adiabáticamente y puede alcanzar su punto de rocío, lo que resulta en la condensación y formación de nubes. La velocidad vertical del aire también influye en el desarrollo vertical cuando las corrientes ascendentes son más fuertes, las nubes tienen más potencial para alcanzar altitudes mayores y desarrollarse verticalmente de manera más pronunciada. En contraste, si las corrientes ascendentes son débiles, las nubes tienden a permanecer en niveles más bajos de la atmósfera y su desarrollo vertical puede ser limitado.

La subsidencia tiende a generar condiciones de estabilidad atmosférica, ya que el aire descendente se calienta adiabáticamente por compresión, esto puede inhibir la formación de corrientes ascendentes y descendentes significativas en la atmósfera. En consecuencia, la velocidad vertical del aire tiende a ser débil en áreas afectadas por alto valores de subsidencia. También, puede suprimir la formación de nubes convectivas al crear una barrera física para el ascenso del aire húmedo. Al descender, el aire seco y cálido inhibe el ascenso de las corrientes ascendentes que son necesarias para la formación de nubes convectivas.

3.8. Caso estudiado

En [11] se analiza el comportamiento del LWP del caso del Experimento de Transición de Estratocúmulos del Atlántico (ASTEX por sus siglas en inglés). La simulación dura 40 h y presenta una insolación que varía diurnamente, durante la transición, la capa límite evoluciona desde relativamente poco profunda y bien mezclada hasta profunda y desacoplada con corrientes ascendentes de cúmulos debajo de una delgada capa de estratocúmulos rotos. Muchos de los forzamientos y condiciones de contorno para el caso ASTEX, como la velocidad de hundimiento, el ángulo cenital solar y las velocidades del viento geostrófico, varían con el tiempo.

En la Figura 3.6 se muestra la simulación realizada, la cual comienza aproximadamente a medianoche, por lo tanto, durante las primeras 8 horas, la contribución de la radiación a la tendencia LWP se debe únicamente al enfriamiento radiativo de onda larga haciendo que la capa de estratocúmulos se espese. El aumento del LWP desencadena precipitación adicional, de modo que su contribución al adelgazamiento aumenta hasta equilibrar aproximadamente la tendencia radiativa y la tendencia neta del LWP disminuye. Pasada las primeras 8 horas, cuando amanece, la capa de estratocúmulos absorbe una fracción de la radiación solar incidente, lo que provoca una tendencia al calentamiento que compensa en parte el enfriamiento radiativo de onda larga. Por lo tanto, el efecto neto de espesamiento de las nubes debido a la radiación disminuye durante el día. Esto tiene un efecto pronunciado en la tendencia del LWP total, que se vuelve negativa y conduce a una fuerte disminución del LWP. A medida que la LWP disminuye, la capa de estratocúmulos produce menos precipitación, de modo que la tendencia a adelgazarse debido a la precipitación se reduce a aproximadamente cero después de aproximadamente 14 h. Esto muestra que la retroalimentación del LWP sobre la generación de precipitación actúa como un mecanismo amortiguador que nivela las variaciones del LWP en escalas de tiempo de varias horas.

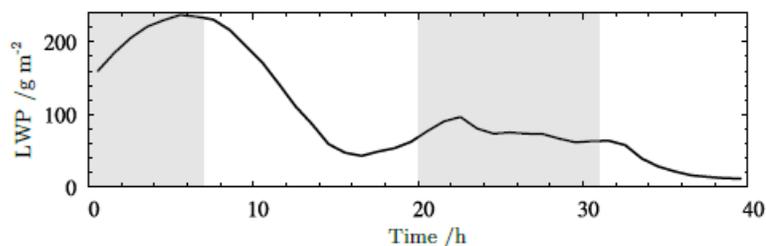


Figura 3.6: Cantidad de agua líquida (LWP). [11]

Durante la segunda noche, después de aproximadamente 20 h, el adelgazamiento debido al arrastre se equilibra con las contribuciones iguales al espesamiento del enfriamiento radiativo y los flujos en la base de las nubes. En esta etapa, el LWP se ha vuelto bajo, lo que resulta en poca precipitación y, por lo tanto, una tendencia insignificante a la sequía debido a la precipitación. Como resultado, el LWP disminuye sólo muy ligeramente hasta que la capa de nubes comienza a disiparse al comienzo del segundo día.

La Figura 3.7 muestra la cantidad de agua líquida (LWP) para tres simulaciones de sensibilidad en las que se varía la velocidad de subsidencia a gran escala. Los resultados demuestran claramente que un debilitamiento de la subsidencia hace que el LWP aumente, lo prolonga la vida útil de la capa de estratocúmulos.

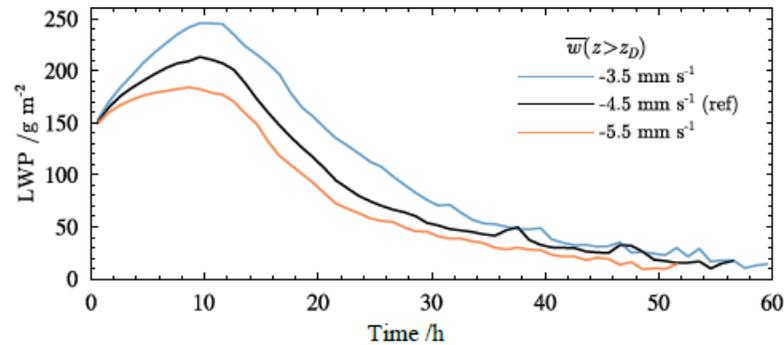


Figura 3.7: Cantidad de agua líquida para diferentes subsidencias. [11]

A pesar de la ausencia de precipitación y un ciclo diurno, las transiciones con los forzamientos idealizados son cualitativamente similares a la transición ASTEX (Figura 3.6). Sin embargo, una diferencia destacada es el momento de la ruptura de los estratocúmulos, que ocurre aproximadamente 10 h antes en la transición ASTEX. Como posible explicación, lo más probable es que esto se deba a la magnitud del viento horizontal que disminuye en la segunda mitad de esta transición y provoca una reducción drástica del flujo de humedad superficial.

La Figura 3.8 muestra la altura de inversión (línea continua) y base (línea discontinua) de la capa de estratocúmulos, las diferencias en la altura de inversión comienzan a ocurrir poco después del inicio de las simulaciones, mientras que para la altura de la base no se ve afectada durante unas 15 h. Esto indica que la diferencia en la velocidad debido a la subsidencia no afecta fuertemente los perfiles de temperatura y humedad en la mayor parte de la capa límite durante este período. Es importante señalar que las diferencias de la altura de inversión entre las simulaciones son aproximadamente un factor de dos mayores de lo que se esperaría basándose únicamente en la diferencia en la tasa de subsidencia. También, se presenta la velocidad de arrastre la cual aumenta a medida que disminuye el valor de la subsidencia, esto hace que la capa de nubes sea más energética, lo que eventualmente conduce a un mayor arrastre.

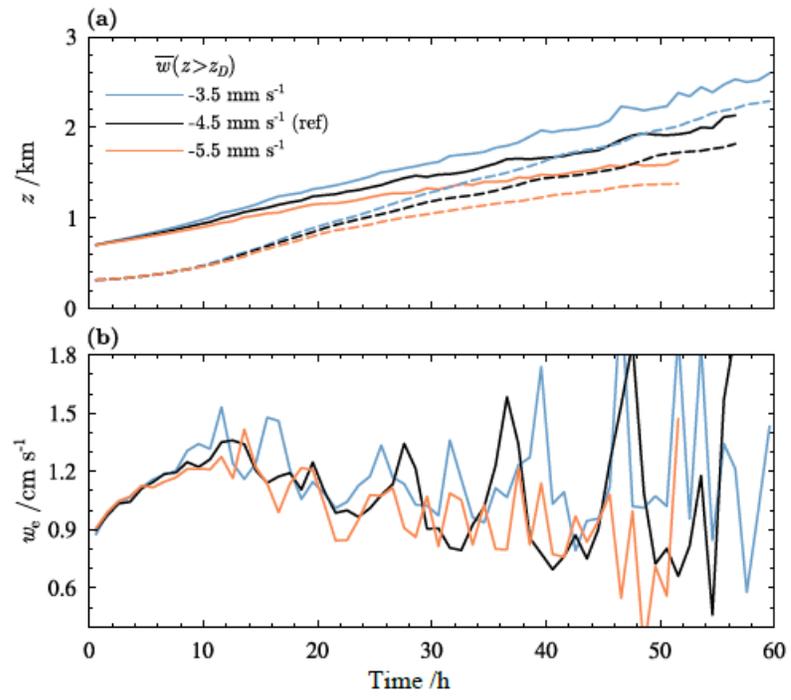


Figura 3.8: (a) Altura de inversión (z_i) (b) Velocidad de arrastre. [11]

Capítulo 4

Metodología

En esta sección se presenta la metodología a seguir para cumplir con el objetivo general de este trabajo. A continuación se presentan subcapítulos correspondientes a cada uno de los objetivos específicos seguidos de una breve descripción de los pasos a seguir para lograr cada uno de ellos.

4.1. Estudiar y comprender el fenómeno de la subsidencia

En esta parte se estudió toda la literatura necesaria para poder entender el fenómeno tanto de la subsidencia, así como del programa a utilizar (LES) , con la finalidad de entender su funcionamiento y generar casos de pruebas para simular uno de los estudiados.

El fin de generar estos casos de pruebas es entender los tipos de datos que se obtendrán, filtrar los que permitan representar de mejor manera el efecto que tiene este parámetro y observar el comportamiento que se espera que tengan los datos a utilizar para el caso de estudio.

Como caso de prueba se utilizaron dos valores de divergencia los cuales son 2×10^{-6} y 4×10^{-6} [1/seg] [11], de los cuales se analizarán la cantidad de agua líquida (LWP), la altura de inversión, la fracción de nube, la energía cinética y la velocidad vertical.

4.2. Definir los parámetros necesarios para generar el caso de estudio

Una vez consultada toda la literatura requerida se proceden a definir los parámetros necesarios que se utilizarán tanto para obtener los datos con ERA5 como para las posteriores simulaciones LES.

El primer parámetro a utilizar es la divergencia, dado que es este valor se obtiene de ERA5 y es con el cuál se trabaja directamente con las simulaciones, la relación de este parámetro con la subsidencia que utiliza LES para realizar los cálculos se presenta a continuación: [11]

$$Sub = -D \times z \quad (4.1)$$

Dónde:

- Sub: Subsidencia [m/seg]
- D: Divergencia [1/seg]
- z: Altura de la nube [m]

Otro parámetro importante a destacar es que se trabajarán con los valores de divergencia a 700 [mba], que corresponde a una altura de 3000 metros sobre el nivel del mar, debido que a esta presión se desarrolla la capa límite [13] y se considerarán 3 ciudades para obtener estos datos, las cuales son Arica, Antofagasta y San Diego (E.E.U.U.) ya que es donde se desarrollan las nubes estratocúmulos y se puede obtener información suficiente para desarrollar el trabajo.

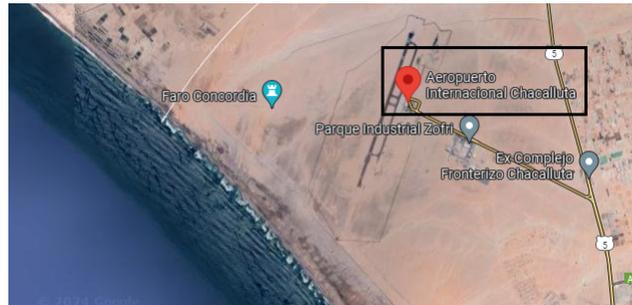
4.3. Obtener diferentes valores de divergencia mediante ERA5

Para obtener valores divergencia se utilizó ERA5 en las ciudades de Arica, Antofagasta y San Diego (E.E.U.U.). Para esto se analizó un año completo y se utilizaron dos puntos de interés para cada ciudad, el primero ubicado en la superficie terrestre, a la cual se le referirá como “Tierra”, y el segundo punto a 10 km mar adentro desde la costa, que se nombrará como “Mar”. A continuación, se presentan los puntos geográficos estudiados, junto a sus coordenadas para cada ciudad estudiada (las coordenadas con todos sus dígitos se pueden consultar en la Tabla A.1).

4.3.1. Ciudad de Arica

Para esta ciudad se utilizaron las siguientes ubicaciones con sus respectivas coordenadas:

- **Tierra:** Aeropuerto Internacional Chacalluta (latitud: -18,3514; longitud: -70,3358).
- **Mar:** 10 km mar adentro desde la costa más cercana al aeropuerto (latitud: -18,3476; longitud: -70,8479).



(a) Aeropuerto Internacional Chacalluta.



(b) 10 km desde la costa.

Figura 4.1: Ubicaciones estudiadas en Arica. [Google Earth]

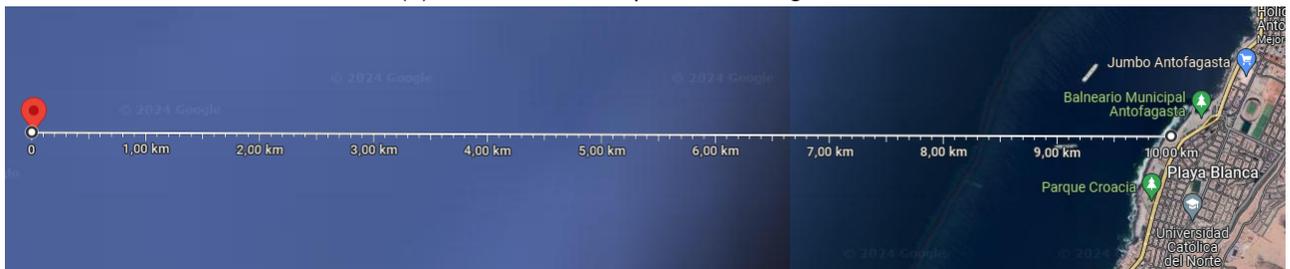
4.3.2. Ciudad de Antofagasta

Para esta ciudad se utilizaron las siguientes ubicaciones con sus respectivas coordenadas:

- **Tierra:** Balneario Municipal de Antofagasta (latitud: -23,6699; longitud: -70,4091).
- **Mar:** 10 km mar adentro desde la costa más cercana al balneario (latitud: -23,6716; longitud: -70,5072).



(a) Balneario Municipal de Antofagasta.



(b) 10 km desde la costa.

Figura 4.2: Ubicaciones estudiadas en Antofagasta. [Google Earth]

4.3.3. Ciudad de San Diego (E.E.U.U.)

Para esta ciudad se utilizaron las siguientes ubicaciones con sus respectivas coordenadas:

- **Tierra:** Miramar (latitud: 32,8764; longitud: -117,1355).
- **Mar:** 10 km mar adentro desde la costa más cercana a Miramar (latitud: 32,8738; longitud: -117,7882).



(a) Miramar.



(b) 10 km desde la costa.

Figura 4.3: Ubicaciones estudiadas en San Diego (E.E.U.U.). [Google Earth]

Adicionalmente, se estudiará un tercer punto para esta ciudad por razones que se explicarán más adelante, el punto se ubicará a 50 km de la costa más cercana a Miramar.

- **Latitud:** 32,86868673997934°
- **Longitud:** -117.78828495567397°



Figura 4.4: San Diego Mar a 50 km de la costa. [Google Earth]

4.4. Analizar y comparar los resultados obtenidos

De cada ciudad se obtendrán valores de divergencia, uno para el punto Tierra y el otro para el punto Mar, que corresponde al promedio anual. Primero se estudiará el comportamiento de la divergencia para las tres ciudades estudiadas, se pretende analizar gráficamente para tener una mejor interpretación de los datos, los gráficos que se buscan generar son: uno que indique el promedio según la hora del día con la finalidad de ver el comportamiento que tiene este valor a lo largo de un día y como este cambia según el ciclo diario (mañana, tarde y noche); mientras que el segundo gráfico representa el valor de la divergencia para cada caso en particular, para el promedio mensual, se busca mostrar como este valor varía según la estación del año en que se encuentre (verano, otoño, invierno y primavera), con estos dos gráficos se pretende ver si el comportamiento es el esperado según lo que se leyó en la literatura.

Finalmente, con los valores obtenidos de divergencia de cada ciudad se procede a realizar la simulación LES con cada uno en casos diferentes con un tiempo de simulación de 18000 segundos, con los resultados obtenidos se realizarán los mismos gráficos generados en el caso de prueba con el fin de observar que si con valores reales obtenidos se tiene un comportamiento similar al teórico, y para explicar como afecta variar la subsidencia costera en el comportamiento de las nubes estratocúmulos.

Capítulo 5

Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos para el caso de prueba generado, los valores obtenidos de divergencia para las 3 ciudades y los datos obtenidos de la simulación LES, para finalmente explicar el comportamiento de cada resultado.

5.1. Resultados del caso de prueba

Teniendo en consideración en este gráfico como en los siguientes que los análisis se realizan a partir de los 2500 segundos debido a que ese es el tiempo que demora el programa en generar bien todas las condiciones necesarias (condiciones de borde, turbulencia, etc.).

Cómo se puede observar en la Figura 5.1, el LWP aumenta levemente por un periodo de tiempo para posteriormente decaer de una forma lineal. Para valores más altos de divergencia este parámetro ve reducido su valor mucho más veloz que para casos de menor divergencia.

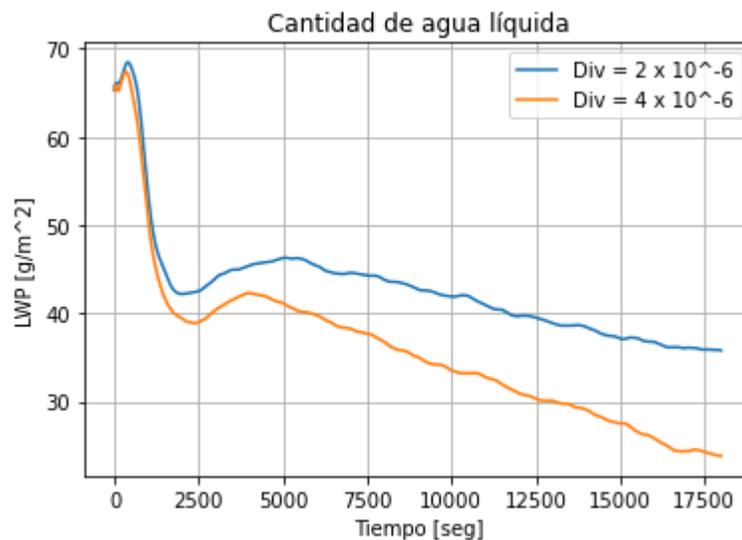


Figura 5.1: Cantidad de agua líquida - Caso de Prueba. [Elaboración Propia]

En la Figura 5.2, se muestra como a menores valores de divergencia, la altura de inversión crece alcanzando grandes valores, mientras que para valores grandes de subsidencia, este parámetro llega hasta los 850 [m] aproximadamente y se mantiene constante hasta el final de la simulación.

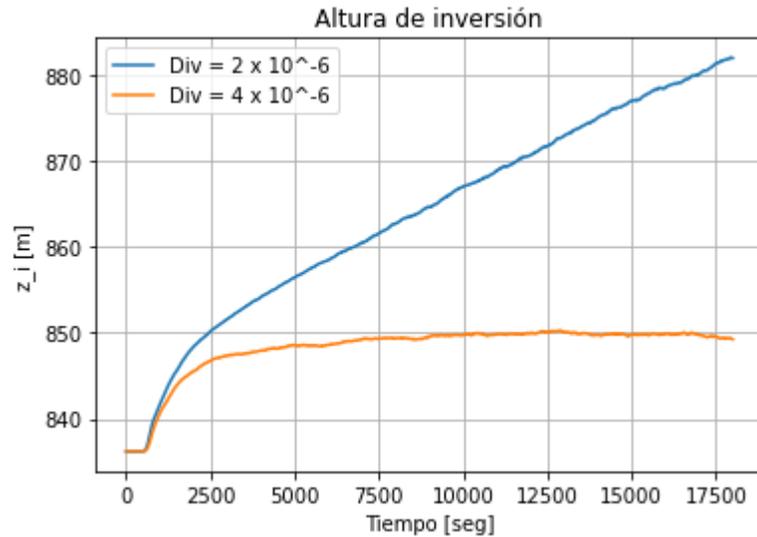


Figura 5.2: Altura de inversión - Caso de Prueba. [Elaboración Propia]

En la Figura 5.3 se muestra el comportamiento que tiene la fracción de nube con respecto al valor de divergencia, para valores pequeños este parámetro no se ve disminuido a gran escala, mientras que para valores altos sí sucede.

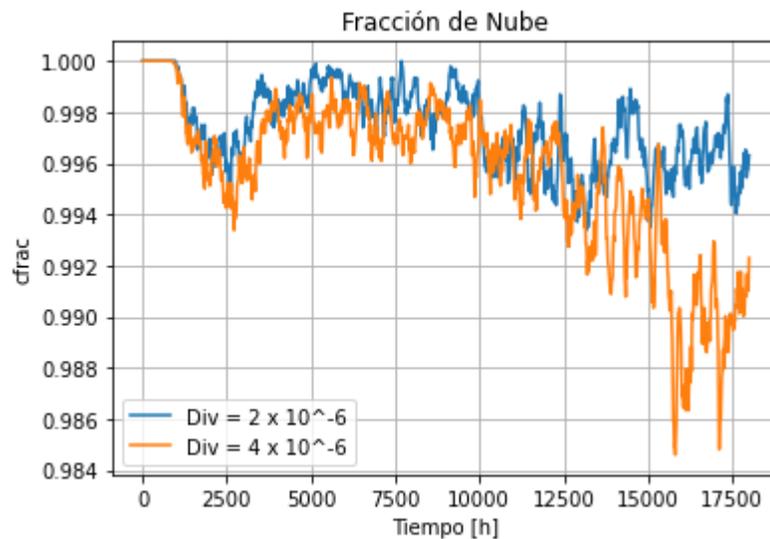


Figura 5.3: Fracción de Nube - Caso de Prueba. [Elaboración Propia]

En la Figura 5.4 se observa que para ambos casos la energía cinética aumenta hasta quedar oscilando dentro de un rango (500-600 aproximadamente), además, ambas curvas no presentan una diferencia tan notoria, mostrando valores similares.

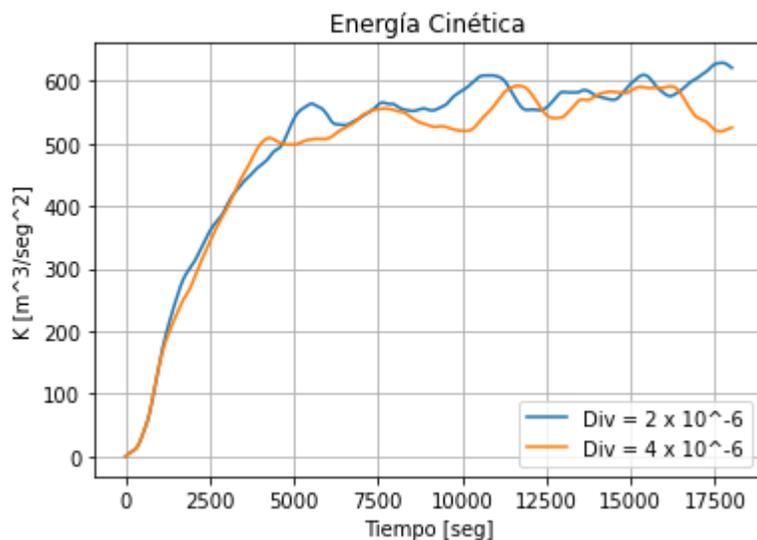


Figura 5.4: Energía cinética - Caso de Prueba. [Elaboración Propia]

Finalmente, al igual que con la energía cinética, en la Figura 5.5 se observa que la velocidad vertical presenta un comportamiento similar para ambas curvas, teniendo un leve aumento para posteriormente oscilar en un rango.

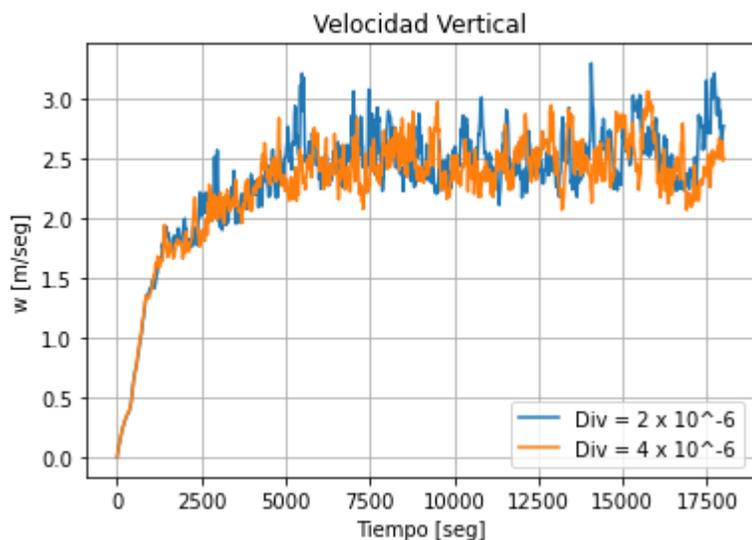


Figura 5.5: Velocidad vertical - Caso de Prueba. [Elaboración Propia]

5.2. Resultados obtenidos en ERA5

Se presentan los valores de divergencia obtenido para las diferentes ciudades junto a un gráfico del comportamiento promedio mensual y promedio según la hora del día para representar de mejor manera la variación de este valor.

5.2.1. Ciudad de Arica

Como se puede observar en el gráfico de la Figura 5.6, tanto el comportamiento de la divergencia en el mar como en la tierra presentan curvas similares entre si, siendo mayor el valor en la tierra en ciertos tramos, teniendo un aumento, en ambos caso, en el periodo de 12:00 pm a 18:00 pm aproximadamente, que corresponde al momento del día donde se alcanza la máxima temperatura, por lo que se espera que este valor también aumente.

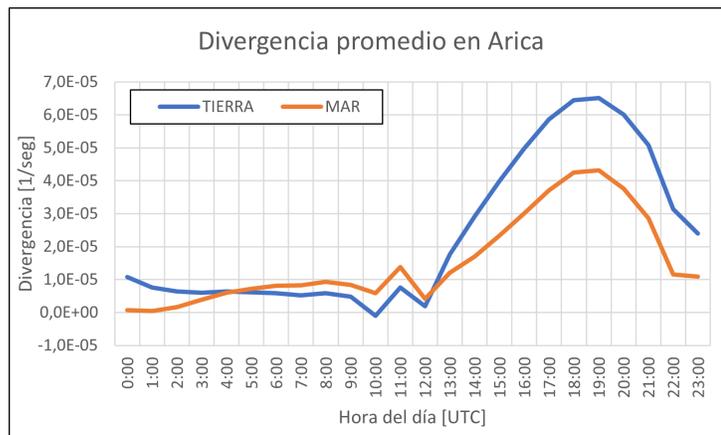


Figura 5.6: Divergencia promedio según la hora del día para Arica. [Elaboración Propia]

Este comportamiento observado en el promedio anual es similar al que tiene la divergencia para un día cualquiera en el año como se muestra en la Figura 5.7.

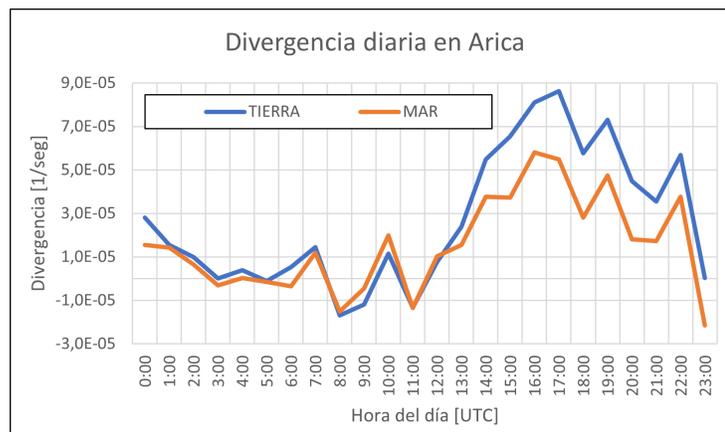


Figura 5.7: Divergencia diaria para Arica. [Elaboración Propia]

Para el caso de la divergencia promedio mensual, se puede observar en la Figura 5.8 que, a diferencia del gráfico anterior, las curvas presentan una diferencia en sus valores, pero presentan un comportamiento similar exceptuando entre los meses de Abril a Agosto, que corresponden a las temporadas de Otoño-Invierno, donde la temperatura desciende, hay más presencia de nubes por lo cual el valor de la divergencia debería ser menor, esto se observa en la curva de la tierra, pero en el mar este valor es creciente.

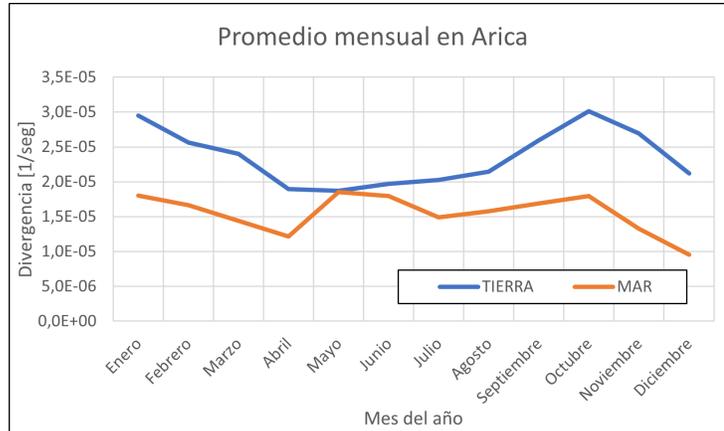


Figura 5.8: Divergencia promedio mensual para Arica. [Elaboración Propia]

Con los datos ya obtenidos y al haber observado el comportamiento con los dos gráficos anteriores, se calculó el valor promedio anual para ambos caso de estudio, Tierra y Mar, de lo cual se obtuvieron los valores que se presentan en la Tabla 5.1, con estos valores se puede establecer una cota superior e inferior de estudio de divergencia para seguir con el trabajo.

Tabla 5.1: Valores de divergencia obtenidas en Arica. [Elaboración Propia]

Tierra [1/seg]	Mar [1/seg]
$2,3524 \times 10^{-5}$	$1,5499 \times 10^{-5}$

5.2.2. Ciudad de Antofagasta

Para la ciudad de Antofagasta, se puede observar un comportamiento parecido que en la ciudad de Arica, en la Figura 5.9 se muestran las curvas de la divergencia promedio según la hora del día, donde estas presentan similitudes en su forma, siendo mayor en la tierra, y ambas teniendo un aumento entre las 12:00 pm y 18:00 pm, pero a diferencia del caso anterior, posterior a este rango horario el valor de divergencia decae de manera menos rápida que en Arica.

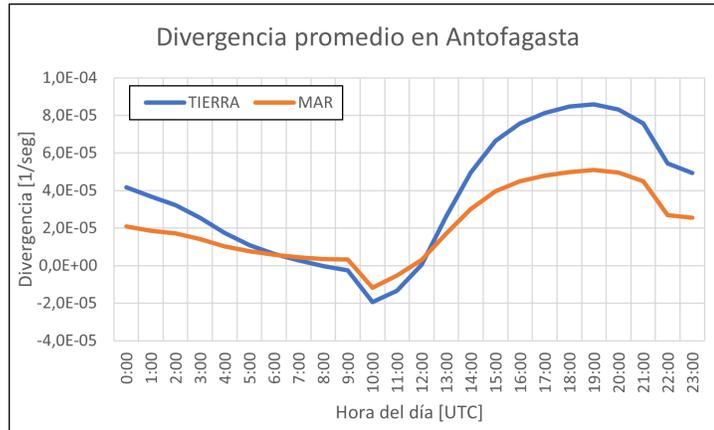


Figura 5.9: Divergencia promedio según la hora del día para Antofagasta. [Elaboración Propia]

Al igual que con la ciudad de Arica, el promedio anual es similar al que se tiene para un día cualquiera en el año como se muestra en la Figura 5.10.

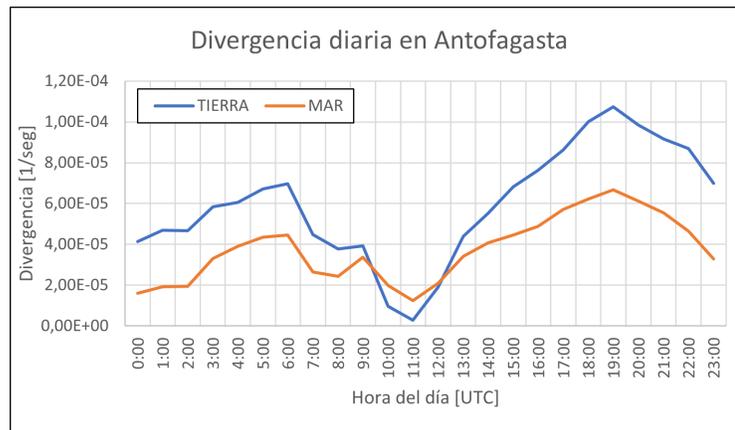


Figura 5.10: Divergencia diaria para Antofagasta. [Elaboración Propia]

En la Figura 5.11 se tiene el promedio mensual del valor de divergencia, donde se observa que a pesar de que las curvas no son similares entre sí, en términos de valores, presentan un comportamiento igual, es decir, para los periodos más fríos (Otoño-Invierno), el valor disminuye encontrando su valor mínimo para posteriormente ir aumentando gradualmente.

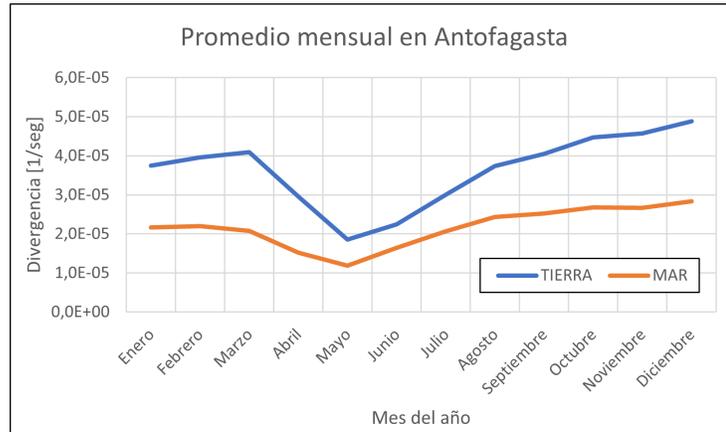


Figura 5.11: Divergencia promedio mensual para Antofagasta. [Elaboración Propia]

Con esto se calculó el promedio anual para ambos casos y así se obtuvieron dos valores para que igual que la ciudad de Arica, se usarán como cotas de estudio, además, se puede ver que estos valores no están muy alejados entre sí y son del mismo orden, algo que ya se podía observar en los diferentes gráficos.

Tabla 5.2: Valores de divergencia obtenidas en Antofagasta. [Elaboración Propia]

Tierra [1/seg]	Mar [1/seg]
$3,6299 \times 10^{-5}$	$2,1656 \times 10^{-5}$

5.2.3. Ciudad de San Diego (E.E.U.U.)

Para esta ciudad, se decidió también analizar como era el comportamiento de la divergencia a 50 km ya que al obtener los datos y observando los diferentes gráficos se obtuvo un comportamiento diferente a lo esperado, por lo que se tomó un nuevo punto más alejado de la costa para analizar si este se mantenía igual o había una diferencia.

En la Figura 5.12, se observa como las tres curvas presentan un comportamiento sinusoidal a lo largo del día, teniendo un leve aumento para horarios después de las 16:00 pm, esto se puede apreciar más en las curvas para la tierra y el punto en el mar a 50 km, mientras que para la curva de mar a 10 km esta disminuye en ese horario.

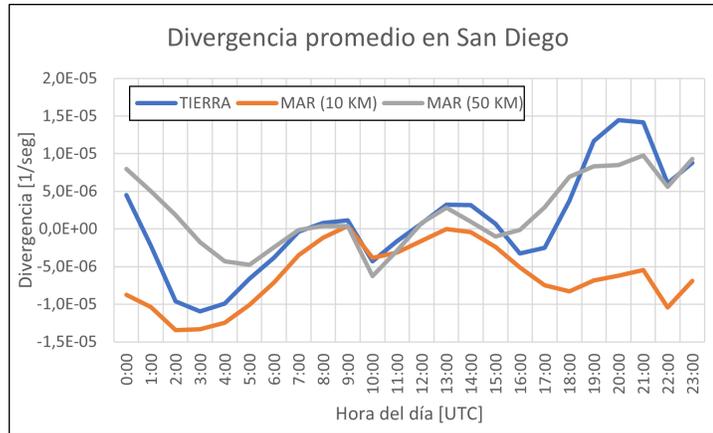


Figura 5.12: Divergencia promedio según la hora del día para San Diego (E.E.U.U.). [Elaboración Propia]

Para el caso de San Diego, se puede observar que tanto la curva del punto Tierra y Mar a 10 km presentan un comportamiento similar al que se puede tener en un día cualquiera del año, mientras que para la curva del punto Mar a 50 km este presenta un comportamiento diferente como se puede apreciar en la Figura 5.13.

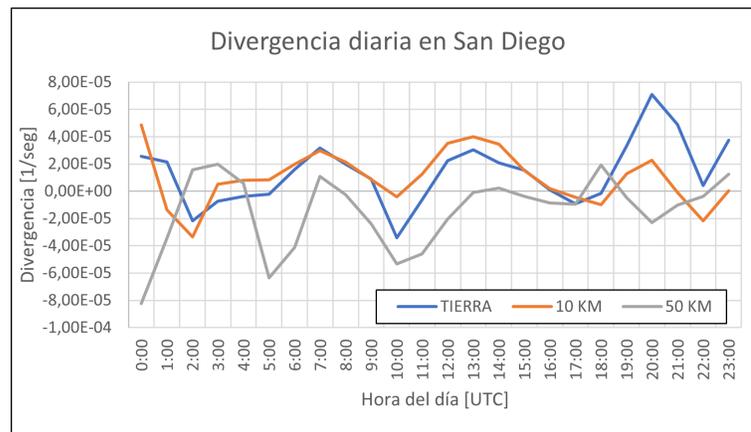


Figura 5.13: Divergencia diaria para San Diego (E.E.U.U.). [Elaboración Propia]

Para el caso del promedio mensual , también se observa un comportamiento diferente para las tres curvas, estando la del punto en tierra y la del punto del mar a 50 km dentro del mismo rango de valores, pero el punto del mar a 10 km, a pesar de tener una forma similar al del punto en tierra, presenta valores muy por debajo de lo esperado. Dado que esta ciudad se encuentra en el Hemisferio Norte, se esperaría que el valor de divergencia aumentara en las estaciones de Primavera-Verano que se desarrollan entre los meses de Abril-Agosto aproximadamente, que es algo que sí se tiene para la curva del mar a 50 km, pero para el resto no.

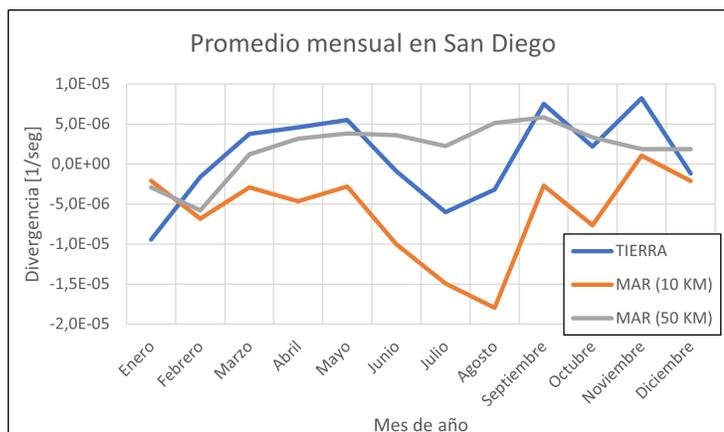


Figura 5.14: Divergencia promedio mensual para San Diego (E.E.U.U.). [Elaboración Propia]

Los valores promedios de divergencia para los tres puntos se muestran en la Tabla 5.3, donde se puede observar que es un rango mucho más amplio que para las dos ciudades anteriores y solo se considerarán los obtenidos para el punto de la tierra y del mar a 50 km, pero no el punto del a mar a 10 km ya que presenta un promedio negativo y no es el foco de estudio de este trabajo.

Tabla 5.3: Valores de divergencia obtenidas en San Diego (E.E.U.U.). [Elaboración Propia]

Tierra [1/seg]	Mar 10 km [1/seg]	Mar 50 km [1/seg]
$7,5903 \times 10^{-7}$	$-6,1634 \times 10^{-6}$	$1,9913 \times 10^{-6}$

5.3. Resultados obtenidos en LES

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los diferentes casos de estudios, generando los mismos gráficos que en el caso de prueba.

Cómo se puede observar en la Figura 5.15, se tiene un comportamiento similar al caso de prueba, donde a valores más grandes de divergencia se tiene una rápida disminución de LWP.

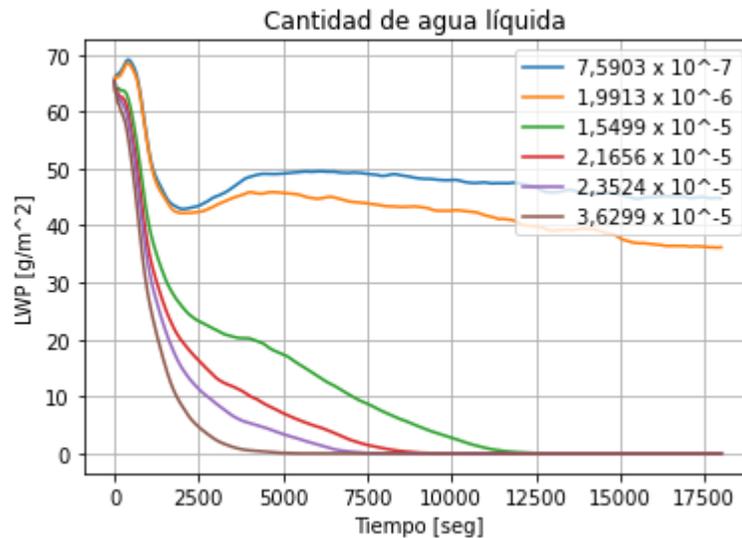


Figura 5.15: Cantidad de agua líquida - Caso de Estudio. [Elaboración Propia]

Para el caso de la altura de inversión, en la Figura 5.16 se puede apreciar que el comportamiento es diferente al caso de prueba, dado que en este caso se obtuvo que a valores altos de divergencia, la altura de inversión disminuye en vez de mantenerse en un valor constante como se puede observar en la Figura 5.2.

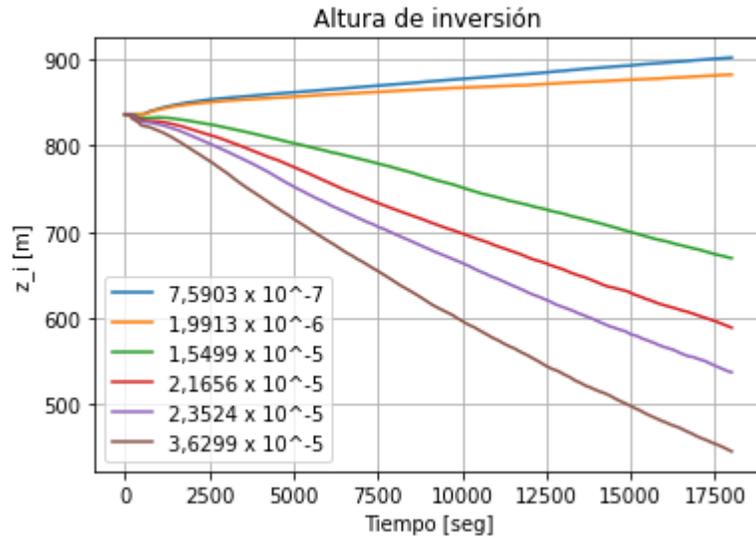


Figura 5.16: Altura de inversión - Caso de Estudio. [Elaboración Propia]

En la Figura 5.17, la fracción de nube también disminuye rápidamente al aumentar la divergencia, llegando al valor de cero en poco tiempo, indicando que existe una desaparición rápida de nubes, mientras que para valores pequeños esta variable permanece constante y sin disminuir significativamente.

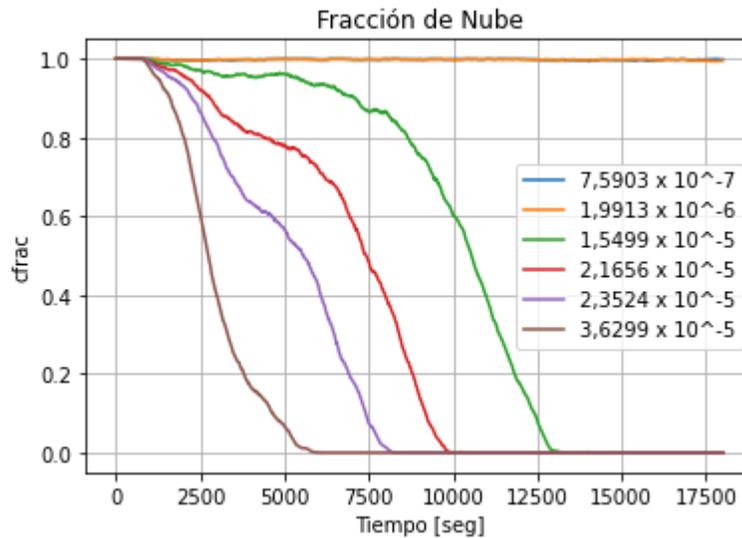


Figura 5.17: Fracción de Nube - Caso de Estudio. [Elaboración Propia]

La energía cinética presenta un comportamiento igual al visto en los casos de prueba para valores bajos de subsidencia, pero para valores altos esta variable aumenta, pero decrece rápidamente a lo largo de la simulación.

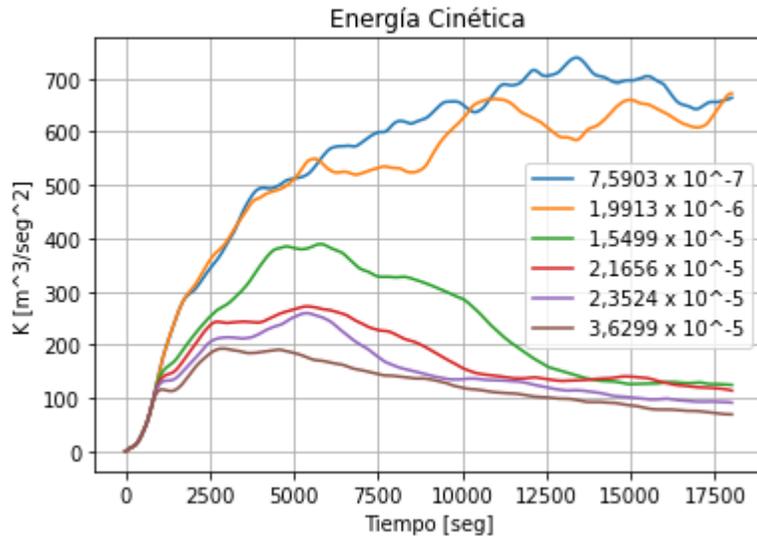


Figura 5.18: Energía cinética - Caso de Estudio. [Elaboración Propia]

En la Figura 5.19, se muestra la velocidad vertical que al igual que la energía cinética para valores bajos de subsidencia aumenta y para valores bajos esta disminuye.

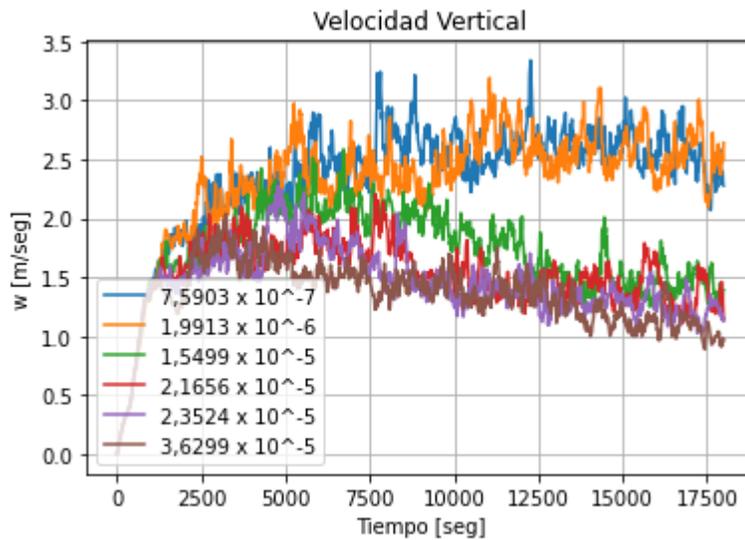


Figura 5.19: Velocidad vertical - Caso de Estudio. [Elaboración Propia]

Teniendo los gráficos analizados, se puede observar que, como ya se ha mencionado anteriormente, a un mayor valor de divergencia se produce una caída en las propiedades que permiten la formación de una nube, cómo es la altura de inversión, la cual desciende rápidamente, limitando superiormente a la altura que puede alcanzar, o como la cantidad de agua líquida que disminuye igualmente, indicando que hay menos cantidad necesaria para que se desarrollen las nubes. Además, de como la energía cinética y la velocidad vertical, las cuales están relacionadas entre si, éstas para valores grandes también tienden a disminuir.

Con esto se puede observar que al variar el valor de la divergencia, la cual se relaciona directamente con la subsidencia influye directamente en como se desarrollan las nubes, en zonas donde se presenta un mayor valor de este es usual ver cielos despejados o como se puede observar con los obtenido mediante ERA5, en ciertos rangos horarios o en estaciones de año donde predominan altas temperaturas.

Dado que este parámetro no posee un valor constante durante todo el día, si no varía según los diferentes factores climatológicos y meteorológicos, no se puede establecer fácilmente un comportamiento que se repita cíclicamente, pero si se puede entender el rol que juega la subsidencia.

Capítulo 6

Conclusiones

En el presente trabajo de título se logró el objetivo general, correspondiente a estudiar el efecto que tiene sobre las nubes estratocúmulos, variar la subsidencia diaria costera mediante simulaciones LES.

Para obtener los resultados presentados a lo largo de este trabajo, se desarrolló una metodología en la cual, se estudió detalladamente todo el fenómeno físico que influye y permite la existencia de la subsidencia y el rol de esta sobre la formación y disipación de las nubes estratocúmulos, así como también se generaron casos de prueba que permitieron ilustrar el comportamiento que se esperaba que tuvieran los datos al trabajar con casos reales, todo esto utilizando tres variables: cantidad de agua líquida, altura de inversión y fracción de nube; los cuales son indicadores de la cantidad de agua disponible para su formación, la altura máxima que puede alcanzar y la cantidad que se puede observar, respectivamente. También, se establecieron los parámetros y consideraciones necesarias para trabajar, los cuales se destacan el uso del factor de divergencia y obtener los datos a presiones de 700 [mba].

Con el fin de obtener valores reales de divergencia con los cuales trabajar, se utilizó ERA5 en tres diferentes ciudades (Arica, Antofagasta y San Diego) ya que es posible obtener datos más exactos debido a la gran presencia de nubes estratocúmulos, con esto se generaron dos casos por ciudad (un punto en tierra firme y otro en mar abierto) para generar un rango de trabajo donde se pueda representar de mejor manera un valor de divergencia para la costa. Una vez obtenidos estos valores se procedió a simular el LES y realizar una análisis sobre los resultados, generando las mismas variables estudiadas que en el caso de prueba.

En los resultados obtenidos en el caso prueba se puede observar el comportamiento que se debería esperar de los resultados con el caso de estudio, en donde ambas curvas presentan el mismo comportamiento, se tiene que a valores grandes de divergencia el decaimiento de las variables graficadas es más rápido que en el caso de menor divergencia.

Para el caso de los resultados obtenidos con ERA5, se obtuvo para Arica los valores de $2,3524 \times 10^{-5}$ [1/seg] y $1,5499 \times 10^{-5}$ [1/seg] para los puntos en Tierra y Mar respectivamente, para Antofagasta $3,6299 \times 10^{-5}$ [1/seg] (Tierra) y $2,1656 \times 10^{-5}$ [1/seg] (Mar), donde se puede observar que el comportamiento es similar, en un ciclo diario de 24 horas se tiene periodos de valores bajos de divergencia que implica que la nubosidad es mayor en las zonas estudiadas y, también presenta un peak en el rango de 12:00-18:00 pm, en donde, las temperaturas son elevadas, por lo que se tiene que se alcance el mayor valor de divergencia y la nubosidad sea baja o nula. Para un ciclo de un año completo, se pudo observar que para las estaciones de más frío (otoño-invierno) este valor suele ser menor, por lo que se presentan periodos más lluviosos y la formación de nubes no está tan limitado.

Para la ciudad de San Diego (E.E.U.U.), se obtuvieron los valores de $7,5903 \times 10^{-7}$ [1/seg] (punto Tierra), $-6,1634 \times 10^{-6}$ [1/seg] (punto Mar a 10 km) y $1,9913 \times 10^{-6}$ [1/seg] (punto Mar a 50 km), se observó un comportamiento diferente al visto en las otras dos ciudades en donde se obtuvo un valor negativo de divergencia para el punto Mar a 10 km, que no está dentro de lo estudiado en este trabajo, por lo cual se estableció un tercer punto que permitiera analizar de manera correcta este caso, para el ciclo diario se observa que hay una oscilación en los valores por lo que no es claro establecer rangos de tiempo donde exista una tendencia al aumento o disminución del valor, además de presentar valores muy bajos, llegando a incluso valores muy por debajo de cero. En el caso del ciclo anual, se observa un comportamiento claro de interpretar, como la ubicación corresponde al hemisferio norte, para el punto ubicado a 50 km se presenta un aumento del valor para las estaciones de primavera-verano que corresponde a los meses de Abril-Agosto, en cambio para el punto en tierra, este valor oscila entre mínimos y máximos.

Una vez realizadas las simulaciones LES para cada caso, se puede apreciar que el comportamiento es similar a lo visto en el caso de prueba, es decir, que para los valores más bajos de divergencia $7,5903 \times 10^{-7}$ [1/seg] y $1,9913 \times 10^{-6}$ [1/seg] las variables estudiadas se mantienen constantes como la fracción de nube o aumentan levemente como la altura de inversión, la energía cinética y la velocidad vertical, demostrando que a valores de esas magnitudes la divergencia genera las condiciones necesarias para que se desarrollen de manera correcta las nubes; mientras que para los valores más altos todas las variables decaen rápidamente, tomando el caso extremo del valor de $3,6299 \times 10^{-5}$ [1/seg] donde se observa que a un tiempo de simulación de 3500 segundos no logran desarrollarse las nubes correctamente provocando su disipación. Para los rango intermedios se observó que si se logra alcanzar un desarrollo de nubes por un periodo de tiempo para después decaer, por lo que el desarrollo de nubes se ve perjudicado llegando al punto de no tener las condiciones para que se forme o que su tiempo de vida sea de corto periodo.

Finalmente se concluye que, al variar el valor de la subsidencia se influye directamente en otras variables que permiten el desarrollo de las nubes como lo son la cantidad de agua líquida disponible o la altura de inversión o la velocidad de arrastre, donde se observó que a divergencias del orden de 10^{-7} y 10^{-6} las variables no se ven influidas a gran manera por este parámetro provocando que se desarrollen correctamente nubes y teniendo un tiempo de vida superior al simulad, y que se puede establecer un rango de trabajo entre los valores de $1,9913 \times 10^{-6}$ [1/seg] y $1,5499 \times 10^{-5}$ [1/seg] en donde se puede obtener un desarrollo completo de las nubes y observar como sería su comportamiento, dado que no se obtuvo información en ese intervalo. Además, se mostró que el comportamiento de esta va relacionado con el valor que posea, se observa claramente en el ciclo diario, que al no ser un valor constante durante el día, se puede establecer un rango en donde este puede estar y en que momento se alcanza su valor mínimo y máximo, además, que el comportamiento que se tiene en las costas no difiere mucho de lo obtenido para el mar y la tierra firme.

Bibliografía

- [1] “Qué es la atmósfera”. [en línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/718/4/A4.pdf>
- [2] Zamora Aguirre, R. (2010). “Caracterización Observacional de la Capa Límite Marina en Antofagasta”. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102299>
- [3] Depositphotos. “Estratocúmulos Repositorio de Fotos”. [en línea]. Disponible en: <https://sp.depositphotos.com/stock-photos/estratoc%C3%BAmulos.html>
- [4] Wood, R. “Stratocumulus Clouds”. *Monthly Weather Review*, vol. 140, no. 8, pp. 2373-2423, 2012. doi: [10.1175/JCLI-D-13-00376.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00376.1)
- [5] Ventanas al Universo. “Celda de Hadley”. [en línea]. Disponible en: https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/hadley_cell.html&lang=sp
- [6] Paper Blog. “Inversión de subsidencia en España”. [en línea]. Disponible en: <https://es.paperblog.com/inversion-de-subsidencia-en-espana-enero-de-2015-3000378/>
- [7] Siles Soria, G. “ERA5 Climatic Reanalysis: A Review on its use for Calculating Atmospheric Attenuation for Satellite Communication Systems”. *Revista Investigación y Desarrollo*, vol. 22, no. 1, 2022. doi: [10.23881/idupbo.022.1-12i](https://doi.org/10.23881/idupbo.022.1-12i)
- [8] Sánchez, E. (2004). “Nubes de Capa Límite Atmosférica: Estudio Numérico y Experimental”. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/55564>
- [9] Heus, T. (2013). “Using the UCLA Large Eddy Simulation code - The Speedy Version”. Max Planck Institute for Meteorology Disponible en: <https://github.com/uclales/uclales/blob/master/doc/leslectures/leslectures2013.pdf>
- [10] Canarias Ahora. “Así se forman los mares de nubes que dibujan los cielos canarios.”. [en línea]. Disponible en:
- [11] Van der Dussen, J., de Roode, S., y Siebesma, A. “How large-scale subsidence affects stratocumulus transitions”. *Atmospheric, Chemistry and Physics*, vol. 16, no. 2, pp. 691–701, 2016. doi: [10.5194/acp-16-691-2016](https://doi.org/10.5194/acp-16-691-2016) https://www.eldiario.es/canariasahora/islas/forman-mares-nubes-dibujan-cielos-canarios_1_7982687.html
- [12] Stevens, B., Moeng, C., Ackerman, A.S., Bretherton, C.S., Chlond, A., de Roode, S., Edwards, J., Golaz, J., Jiang, J., Khairoutdinov, M., Kirkpatrick, M.P., Lewellen, D.C., Lock, A., Müller, F., Stevens, D.E., Whelan, E., y Zhu, P. “Evaluation of Large-Eddy Simulations via Observations of Nocturnal Marine Stratocumulus”. *Monthly Weather Review*, vol. 133, no. 6, pp. 1443—1462, 2005. doi [10.1175/MWR2930.1](https://doi.org/10.1175/MWR2930.1)
- [13] Myers, T. A. y Norris, J. R. “Observational Evidence That Enhanced Subsidence Reduces Subtropical Marine Boundary Layer Cloudiness”. *Journal of Climate*, vol. 26, no. 19, pp. 7507-7524, 2013. doi [10.1175/JCLI-D-12-00736.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00736.1)

- [14] Lin, J., Qian, T., y Shinoda, T. "Stratocumulus Clouds in Southeastern Pacific Simulated by Eight CMIP5-CFMIP Global Climate Models". *Journal of Climate*, vol. 27, no. 8, pp. 3000-3022, 2014. doi [10.1175/JCLI-D-13-00376.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00376.1)
- [15] Myers, T. A. y Norris, J. R. "Influence of Clouds on the Climatic System: Simulations of Stratocumulus on the Atlantic Ocean". *Física de la Tierra*, vol. 16, no. 8, pp. 93-104, 2004. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277268691_Influencia_de_las_nubes_en_el_sistema_climatico_Modelizacion_de_Estratocumulos_sobre_el_Oceano_Atlantico
- [16] Mechoso, C.R, Wood, R., Weller, R., Bretherton, C.S., Clarke, A.D., Coe, H., Fairall, C., Farrar, J.T, Feingold, G., Garreaud, R., Grados, C., McWilliams, J., de Szoeke, S.P., Yuter, S.E., y Zuidema, P. "Ocean-Cloud-Atmosphere-Land Interactions in the Southeastern Pacific". *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 95, no. 3, pp. 357-375, 2014. doi [10.1175/BAMS-D-11-00246.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00246.1)

Anexos

Anexo A. ERA5

A.1. Coordenadas de cada punto de estudio

Tabla A.1: Coordenadas de cada punto de estudio. [Elaboración Propia]

Ciudad	Tierra	Mar
Arica	Latitud: -18.34466263139946° Longitud: -70.32312828532582°	Latitud: -18.355693018381274° Longitud: -70.46836332224699°
Antofagasta	Latitud: -23.669934270204898° Longitud: -70.40917234391056°	Latitud: -23.67160287279849° Longitud: -70.50723815593216°
San Diego (E.E.U.U.)	Latitud: 32.876775029292084° Longitud: -117.13841312226893°	Latitud: 32.87382739400933° Longitud: -117.35931747121212°

Anexo B. Códigos utilizados

B.1. ERA5

Código B.1: Código utilizado para obtener datos de Arica.

```
1 # Ciudad de Arica
2
3 import cdsapi
4 import xarray as xr
5 from urllib.request import urlopen
6 import matplotlib.pyplot as plt
7 import pandas as pd
8 import numpy as np
9 import calendar
10
11 c = cdsapi.Client()
12
13 # dataset to read: vertical profiles
14 dataset = 'reanalysis-era5-pressure-levels'
15
16 # flag to download data
17 download_flag = False
18
```

```

19
20 # location: Aeorpuerto Internacional de Chacalluta
21 lat0=-18.3514
22 lon0=-70.3358
23 ele0=59
24 preslevels=[1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70]
25 preslevels.extend(list(range(100, 1000, 25)))
26
27 # set dates
28 year=2017
29 ntime=len(pd.date_range(pd.datetime(year,1,1),pd.datetime(year,12,31,23,0,0),freq='H')) #
    ↪ length of expected time object for the year
30 nz=36 #len(preslevels) #expected height variable length
31 it=0
32
33 # initialize empty matrices to fill
34 qtout=np.empty((ntime,nz))
35 tempout=np.empty((ntime,nz))
36 uout=np.empty((ntime,nz))
37 vout=np.empty((ntime,nz))
38 divout=np.empty((ntime,nz))
39 qlout=np.empty((ntime,nz))
40 rhout=np.empty((ntime,nz))
41 ccout=np.empty((ntime,nz))
42 timeout=np.empty(ntime, dtype='datetime64[ns]')
43
44 for month in range(1,13): # go through all year, day by day
45     date0=pd.datetime(year,month,1)
46     date1=pd.datetime(year,month,calendar.monthrange(year,month)[1])
47     wanteddates=pd.date_range(date0,date1)
48     for datei in wanteddates:
49         # api parameters
50         params = {
51             'format': 'netcdf',
52             'product_type': 'reanalysis',
53             'variable': ['specific_humidity','temperature','u_component_of_wind',
54                         'v_component_of_wind','vertical_velocity','divergence',
55                         'relative_humidity','specific_cloud_liquid_water_content',
56                         'fraction_of_cloud_cover'],
57             'pressure_level':preslevels,
58             'year': [datei.strftime('%Y')], #['2020'],
59             'month': [datei.strftime('%m')], #['01'], [str(i).zfill(2) for i in range(0,13)],
60             'day': [datei.strftime('%d')], #['01'],[str(i).zfill(2) for i in range(0,32)],
61             'time': [str(i).zfill(2)+' :00' for i in range(0,24)],
62             'grid': [0.25, 0.25],
63             'area': [lat0-.1, lon0-.1, lat0+.1, lon0+.1], #.1 gives single point data
64         }
65
66         # retrieves the path to the file
67         fl = c.retrieve(dataset, params)
68
69         # download the file

```

```

70     if download_flag:
71         fl.download("./output.nc")
72
73     # load into memory
74     with urlopen(fl.location) as f:
75         ds = xr.open_dataset(f.read())
76
77     t=ds['time'].data
78     nt=len(t)
79
80     timeout[it:it+nt]=t
81     qtout[it:it+nt,:]=ds['q'].data.squeeze()
82     tempout[it:it+nt,:]=ds['t'].data.squeeze()
83     uout[it:it+nt,:]=ds['u'].data.squeeze()
84     vout[it:it+nt,:]=ds['v'].data.squeeze()
85     divout[it:it+nt,:]=ds['d'].data.squeeze()
86     rhout[it:it+nt,:]=ds['r'].data.squeeze()
87     qlout[it:it+nt,:]=ds['clwc'].data.squeeze()
88     ccout[it:it+nt,:]=ds['cc'].data.squeeze()
89
90     it=it+nt
91     print('=====')
92     print(datei)
93     print('=====')
94
95     # store results every month for safety
96     timeout.tofile('ARICA/time_'+str(year)+'.csv',sep=',')
97     np.array(tempout).tofile('ARICA/temp_'+str(year)+'.csv',sep=',')
98     qtout.tofile('ARICA/qt_'+str(year)+'.csv',sep=',')
99     tempout.tofile('ARICA/temp_'+str(year)+'.csv',sep=',')
100    uout.tofile('ARICA/u_'+str(year)+'.csv',sep=',')
101    vout.tofile('ARICA/v_'+str(year)+'.csv',sep=',')
102    divout.tofile('ARICA/div_'+str(year)+'.csv',sep=',')
103    rhout.tofile('ARICA/rh_'+str(year)+'.csv',sep=',')
104    qlout.tofile('ARICA/ql_'+str(year)+'.csv',sep=',')
105    ccout.tofile('ARICA/cc_'+str(year)+'.csv',sep=',')
106
107    pres=ds['level'].data.squeeze()
108    pres.tofile('ARICA/preslevels.csv',sep=',')
109
110    # Costa
111
112    c = cdsapi.Client()
113
114    # dataset to read: vertical profiles
115    dataset = 'reanalysis-era5-pressure-levels'
116
117    # flag to download data
118    download_flag = False
119
120    #10 km costa frente al aeropuerto
121    lat0=-18.355693018381274

```

```

122 lon0=-70.46836332224699
123 #50 km de la costa
124
125 ele0=59
126 preslevels=[1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70]
127 preslevels.extend(list(range(100, 1000, 25)))
128
129 # set dates
130 year=2017
131 ntime=len(pd.date_range(pd.datetime(year,1,1),pd.datetime(year,12,31,23,0,0),freq='H')) #
    ↳ length of expected time object for the year
132 nz=36 #len(preslevels) #expected height variable length
133 it=0
134
135 # initialize empty matrices to fill
136 ACqtout=np.empty((ntime,nz))
137 ACtempout=np.empty((ntime,nz))
138 ACuout=np.empty((ntime,nz))
139 ACvout=np.empty((ntime,nz))
140 ACdivout=np.empty((ntime,nz))
141 ACqlout=np.empty((ntime,nz))
142 ACrhout=np.empty((ntime,nz))
143 ACCcout=np.empty((ntime,nz))
144 ACtimeout=np.empty(ntime,dtype='datetime64[ns]')
145
146 for month in range(1,13): # go through all year, day by day
147     date0=pd.datetime(year,month,1)
148     date1=pd.datetime(year,month,calendar.monthrange(year,month)[1])
149     wanteddates=pd.date_range(date0,date1)
150     for datei in wanteddates:
151         # api parameters
152         params = {
153             'format': 'netcdf',
154             'product_type': 'reanalysis',
155             'variable': ['specific_humidity','temperature','u_component_of_wind',
156                         'v_component_of_wind','vertical_velocity','divergence',
157                         'relative_humidity','specific_cloud_liquid_water_content',
158                         'fraction_of_cloud_cover'],
159             'pressure_level':preslevels,
160             'year': [datei.strftime('%Y')], #[2020],
161             'month': [datei.strftime('%m')], #[01], [str(i).zfill(2) for i in range(0,13)],
162             'day': [datei.strftime('%d')], #[01],[str(i).zfill(2) for i in range(0,32)],
163             'time': [str(i).zfill(2)+':00' for i in range(0,24)],
164             'grid': [0.25, 0.25],
165             'area': [lat0-.1, lon0-.1, lat0+.1, lon0+.1], #.1 gives single point data
166         }
167
168     # retrieves the path to the file
169     fl = c.retrieve(dataset, params)
170
171     # download the file
172     if download_flag:

```

```

173     fl.download("./output.nc")
174
175     # load into memory
176     with urlopen(fl.location) as f:
177         ds = xr.open_dataset(f.read())
178
179     t=ds['time'].data
180     nt=len(t)
181
182     ATimeout[it:it+nt]=t
183     ACqtout[it:it+nt,:]=ds['q'].data.squeeze()
184     ACtempout[it:it+nt,:]=ds['t'].data.squeeze()
185     ACuout[it:it+nt,:]=ds['u'].data.squeeze()
186     ACvout[it:it+nt,:]=ds['v'].data.squeeze()
187     ACdivout[it:it+nt,:]=ds['d'].data.squeeze()
188     ACrhout[it:it+nt,:]=ds['r'].data.squeeze()
189     ACqlout[it:it+nt,:]=ds['clwc'].data.squeeze()
190     ACCcout[it:it+nt,:]=ds['cc'].data.squeeze()
191
192     it=it+nt
193     print('=====')
194     print(datei)
195     print('=====')
196
197     # store results every month for safety
198     ATimeout.tofile('ARICACOSTA/time_'+str(year)+'.csv',sep=',')
199     np.array(ACqtout).tofile('ARICACOSTA/qt_'+str(year)+'.csv',sep=',')
200     ACtempout.tofile('ARICACOSTA/temp_'+str(year)+'.csv',sep=',')
201     ACuout.tofile('ARICACOSTA/u_'+str(year)+'.csv',sep=',')
202     ACvout.tofile('ARICACOSTA/v_'+str(year)+'.csv',sep=',')
203     ACdivout.tofile('ARICACOSTA/div_'+str(year)+'.csv',sep=',')
204     ACrhout.tofile('ARICACOSTA/rh_'+str(year)+'.csv',sep=',')
205     ACqlout.tofile('ARICACOSTA/ql_'+str(year)+'.csv',sep=',')
206     ACCcout.tofile('ARICACOSTA/cc_'+str(year)+'.csv',sep=',')
207
208
209     pres=ds['level'].data.squeeze()
210     pres.tofile('ARICACOSTA/preslevels.csv',sep=',')
211

```

Código B.2: Código utilizado para obtener datos de Antofagasta.

```

1  # Ciudad de Antofagasta
2
3  import cdsapi
4  import xarray as xr
5  from urllib.request import urlopen
6  import matplotlib.pyplot as plt
7  import pandas as pd
8  import numpy as np
9  import calendar

```

```

10
11 c = cdsapi.Client()
12
13 # dataset to read: vertical profiles
14 dataset = 'reanalysis-era5-pressure-levels'
15
16 # flag to download data
17 download_flag = False
18
19 # location: Balneario municipal de Antofagasta
20 lat0=-23.669934270204898
21 lon0=-70.40917234391056
22 ele0=59
23 preslevels=[1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70]
24 preslevels.extend(list(range(100, 1000, 25)))
25
26 # set dates
27 year=2017
28 ntime=len(pd.date_range(pd.datetime(year,1,1),pd.datetime(year,12,31,23,0,0),freq='H')) #
    ↪ length of expected time object for the year
29 nz=36 #len(preslevels) #expected height variable length
30 it=0
31
32 # initialize empty matrices to fill
33 ANTqtout=np.empty((ntime,nz))
34 ANTtempout=np.empty((ntime,nz))
35 ANTuout=np.empty((ntime,nz))
36 ANTvout=np.empty((ntime,nz))
37 ANTdivout=np.empty((ntime,nz))
38 ANTqlout=np.empty((ntime,nz))
39 ANTrhout=np.empty((ntime,nz))
40 ANTccout=np.empty((ntime,nz))
41 ANTtimeout=np.empty(ntime, dtype='datetime64[ns]')
42
43 for month in range(1,13): # go through all year, day by day
44     date0=pd.datetime(year,month,1)
45     date1=pd.datetime(year,month,calendar.monthrange(year,month)[1])
46     wanteddates=pd.date_range(date0,date1)
47     for datei in wanteddates:
48         # api parameters
49         params = {
50             'format': 'netcdf',
51             'product_type': 'reanalysis',
52             'variable': ['specific_humidity', 'temperature', 'u_component_of_wind',
53                         'v_component_of_wind', 'vertical_velocity', 'divergence',
54                         'relative_humidity', 'specific_cloud_liquid_water_content',
55                         'fraction_of_cloud_cover'],
56             'pressure_level': preslevels,
57             'year': [datei.strftime('%Y')], #['2020'],
58             'month': [datei.strftime('%m')], #['01'], [str(i).zfill(2) for i in range(0,13)],
59             'day': [datei.strftime('%d')], #['01'], [str(i).zfill(2) for i in range(0,32)],
60             'time': [str(i).zfill(2)+' :00' for i in range(0,24)],

```

```

61     'grid': [0.25, 0.25],
62     'area': [lat0-.1, lon0-.1, lat0+.1, lon0+.1], #.1 gives single point data
63 }
64
65 # retrieves the path to the file
66 fl = c.retrieve(dataset, params)
67
68 # download the file
69 if download_flag:
70     fl.download("./output.nc")
71
72 # load into memory
73 with urlopen(fl.location) as f:
74     ds = xr.open_dataset(f.read())
75
76 t=ds['time'].data
77 nt=len(t)
78
79 ANTtimeout[it:it+nt]=t
80 ANTqtout[it:it+nt,:]=ds['q'].data.squeeze()
81 ANTtempout[it:it+nt,:]=ds['t'].data.squeeze()
82 ANTuout[it:it+nt,:]=ds['u'].data.squeeze()
83 ANTvout[it:it+nt,:]=ds['v'].data.squeeze()
84 ANTdivout[it:it+nt,:]=ds['d'].data.squeeze()
85 ANTrhout[it:it+nt,:]=ds['r'].data.squeeze()
86 ANTqlout[it:it+nt,:]=ds['qlwc'].data.squeeze()
87 ANTccout[it:it+nt,:]=ds['cc'].data.squeeze()
88
89 it=it+nt
90 print('=====')
91 print(datei)
92 print('=====')
93
94 # store results every month for safety
95 ANTtimeout.tofile('ANTOFA/time_'+str(year)+'.csv',sep=',')
96 np.array(ANTtimeout).tofile('ANTOFA/time_'+str(year)+'.csv',sep=',')
97 ANTqtout.tofile('ANTOFA/qt_'+str(year)+'.csv',sep=',')
98 ANTtempout.tofile('ANTOFA/temp_'+str(year)+'.csv',sep=',')
99 ANTuout.tofile('ANTOFA/u_'+str(year)+'.csv',sep=',')
100 ANTvout.tofile('ANTOFA/v_'+str(year)+'.csv',sep=',')
101 ANTdivout.tofile('ANTOFA/div_'+str(year)+'.csv',sep=',')
102 ANTrhout.tofile('ANTOFA/rh_'+str(year)+'.csv',sep=',')
103 ANTqlout.tofile('ANTOFA/ql_'+str(year)+'.csv',sep=',')
104 ANTccout.tofile('ANTOFA/cc_'+str(year)+'.csv',sep=',')
105
106 pres=ds['level'].data.squeeze()
107 pres.tofile('ANTOFA/preslevels.csv',sep=',')
108
109 # Costa
110
111 c = cdsapi.Client()
112

```

```

113 # dataset to read: vertical profiles
114 dataset = 'reanalysis-era5-pressure-levels'
115
116 # flag to download data
117 download_flag = False
118
119 # location: 10 km del Balneario Municipal de Antofagasta
120 lat0=-23.67160287279849
121 lon0=-70.50723815593216
122
123 ele0=59
124 preslevels=[1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70]
125 preslevels.extend(list(range(100, 1000, 25)))
126
127 # set dates
128 year=2017
129 ntime=len(pd.date_range(pd.datetime(year,1,1),pd.datetime(year,12,31,23,0,0),freq='H')) #
    ↪ length of expected time object for the year
130 nz=36 #len(preslevels) #expected height variable length
131 it=0
132
133 # initialize empty matrices to fill
134 ANTCqtout=np.empty((ntime,nz))
135 ANTCtempout=np.empty((ntime,nz))
136 ANTCuout=np.empty((ntime,nz))
137 ANTCvout=np.empty((ntime,nz))
138 ANTCdivout=np.empty((ntime,nz))
139 ANTCqlout=np.empty((ntime,nz))
140 ANTCrhout=np.empty((ntime,nz))
141 ANTCccout=np.empty((ntime,nz))
142 ANTCtimeout=np.empty(ntime,dtype='datetime64[ns]')
143
144 for month in range(1,13): # go through all year, day by day
145     date0=pd.datetime(year,month,1)
146     date1=pd.datetime(year,month,calendar.monthrange(year,month)[1])
147     wanteddates=pd.date_range(date0,date1)
148     for datei in wanteddates:
149         # api parameters
150         params = {
151             'format': 'netcdf',
152             'product_type': 'reanalysis',
153             'variable': ['specific_humidity','temperature','u_component_of_wind',
154                         'v_component_of_wind','vertical_velocity','divergence',
155                         'relative_humidity','specific_cloud_liquid_water_content',
156                         'fraction_of_cloud_cover'],
157             'pressure_level':preslevels,
158             'year': [datei.strftime('%Y')], #['2020'],
159             'month': [datei.strftime('%m')], #['01'], [str(i).zfill(2) for i in range(0,13)],
160             'day': [datei.strftime('%d')], #['01'],[str(i).zfill(2) for i in range(0,32)],
161             'time': [str(i).zfill(2)+'':00' for i in range(0,24)],
162             'grid': [0.25, 0.25],
163             'area': [lat0-.1, lon0-.1, lat0+.1, lon0+.1], #.1 gives single point data

```

```

164     }
165
166     # retrieves the path to the file
167     fl = c.retrieve(dataset, params)
168
169     # download the file
170     if download_flag:
171         fl.download("./output.nc")
172
173     # load into memory
174     with urlopen(fl.location) as f:
175         ds = xr.open_dataset(f.read())
176
177     t=ds['time'].data
178     nt=len(t)
179
180     ANTCtimeout[it:it+nt]=t
181     ANTCqtout[it:it+nt,:]=ds['q'].data.squeeze()
182     ANTCtempout[it:it+nt,:]=ds['t'].data.squeeze()
183     ANTCuout[it:it+nt,:]=ds['u'].data.squeeze()
184     ANTCvout[it:it+nt,:]=ds['v'].data.squeeze()
185     ANTCdivout[it:it+nt,:]=ds['d'].data.squeeze()
186     ANTCrhout[it:it+nt,:]=ds['r'].data.squeeze()
187     ANTCqlout[it:it+nt,:]=ds['clwc'].data.squeeze()
188     ANTCccout[it:it+nt,:]=ds['cc'].data.squeeze()
189
190     it=it+nt
191     print('=====')
192     print(datei)
193     print('=====')
194
195     # store results every month for safety
196     ANTCtimeout.tofile('ANTOFACOSTA/time_'+str(year)+'.csv',sep=',')
197     np.array(ANTCtimeout).tofile('ANTOFACOSTA/time_'+str(year)+'.csv',sep=',')
198     ANTCqtout.tofile('ANTOFACOSTA/qt_'+str(year)+'.csv',sep=',')
199     ANTCtempout.tofile('ANTOFACOSTA/temp_'+str(year)+'.csv',sep=',')
200     ANTCuout.tofile('ANTOFACOSTA/u_'+str(year)+'.csv',sep=',')
201     ANTCvout.tofile('ANTOFACOSTA/v_'+str(year)+'.csv',sep=',')
202     ANTCdivout.tofile('ANTOFACOSTA/div_'+str(year)+'.csv',sep=',')
203     ANTCrhout.tofile('ANTOFACOSTA/rh_'+str(year)+'.csv',sep=',')
204     ANTCqlout.tofile('ANTOFACOSTA/ql_'+str(year)+'.csv',sep=',')
205     ANTCccout.tofile('ANTOFACOSTA/cc_'+str(year)+'.csv',sep=',')
206
207     pres=ds['level'].data.squeeze()
208     pres.tofile('ANTOFACOSTA/preslevels.csv',sep=',')
209

```

Código B.3: Código utilizado para obtener datos de San Diego.

```
1 # Ciudad de San Diego (E.E.U.U.)
2
3 import cdsapi
4 import xarray as xr
5 from urllib.request import urlopen
6 import matplotlib.pyplot as plt
7 import pandas as pd
8 import numpy as np
9 import calendar
10
11 c = cdsapi.Client()
12
13 # dataset to read: vertical profiles
14 dataset = 'reanalysis-era5-pressure-levels'
15
16 # flag to download data
17 download_flag = False
18
19 # location: Miramar
20
21 lat0=32.87656660821844
22 lon0=-117.13856098565276
23 ele0=59
24 preslevels=[1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70]
25 preslevels.extend(list(range(100, 1000, 25)))
26
27 # set dates
28 year=2017
29 ntime=len(pd.date_range(pd.datetime(year,1,1),pd.datetime(year,12,31,23,0,0),freq='H')) #
    ↪ length of expected time object for the year
30 nz=36 #len(preslevels) #expected height variable length
31 it=0
32
33 # initialize empty matrices to fill
34 SDqtout=np.empty((ntime,nz))
35 SDtempout=np.empty((ntime,nz))
36 SDuout=np.empty((ntime,nz))
37 SDvout=np.empty((ntime,nz))
38 SDdivout=np.empty((ntime,nz))
39 SDqlout=np.empty((ntime,nz))
40 SDrhout=np.empty((ntime,nz))
41 SDccout=np.empty((ntime,nz))
42 SDtimeout=np.empty(ntime,dtype='datetime64[ns]')
43
44 for month in range(1,13): # go through all year, day by day
45     date0=pd.datetime(year,month,1)
46     date1=pd.datetime(year,month,calendar.monthrange(year,month)[1])
47     wanteddates=pd.date_range(date0,date1)
48     for datei in wanteddates:
49         # api parameters
```

```

50     params = {
51         'format': 'netcdf',
52         'product_type': 'reanalysis',
53         'variable': ['specific_humidity', 'temperature', 'u_component_of_wind',
54                     'v_component_of_wind', 'vertical_velocity', 'divergence',
55                     'relative_humidity', 'specific_cloud_liquid_water_content',
56                     'fraction_of_cloud_cover'],
57         'pressure_level': preslevels,
58         'year': [datei.strftime('%Y')], #[ '2020' ],
59         'month': [datei.strftime('%m')], #[ '01' ], [str(i).zfill(2) for i in range(0,13)],
60         'day': [datei.strftime('%d')], #[ '01' ], [str(i).zfill(2) for i in range(0,32)],
61         'time': [str(i).zfill(2)+' :00' for i in range(0,24)],
62         'grid': [0.25, 0.25],
63         'area': [lat0-.1, lon0-.1, lat0+.1, lon0+.1], #.1 gives single point data
64     }
65
66     # retrieves the path to the file
67     fl = c.retrieve(dataset, params)
68
69     # download the file
70     if download_flag:
71         fl.download("./output.nc")
72
73     # load into memory
74     with urlopen(fl.location) as f:
75         ds = xr.open_dataset(f.read())
76
77     t=ds['time'].data
78     nt=len(t)
79
80     SDtimeout[it:it+nt]=t
81     SDqtout[it:it+nt,:]=ds['q'].data.squeeze()
82     SDtempout[it:it+nt,:]=ds['t'].data.squeeze()
83     SDuout[it:it+nt,:]=ds['u'].data.squeeze()
84     SDvout[it:it+nt,:]=ds['v'].data.squeeze()
85     SDdivout[it:it+nt,:]=ds['d'].data.squeeze()
86     SDRhout[it:it+nt,:]=ds['r'].data.squeeze()
87     SDqlout[it:it+nt,:]=ds['clwc'].data.squeeze()
88     SDccout[it:it+nt,:]=ds['cc'].data.squeeze()
89
90     it=it+nt
91     print('=====')
92     print(datei)
93     print('=====')
94
95     # store results every month for safety
96     SDtimeout.tofile('SD/time_'+str(year)+'.csv',sep=',')
97     np.array(SDtimeout).tofile('SD/time_'+str(year)+'.csv',sep=',')
98     SDqtout.tofile('SD/qt_'+str(year)+'.csv',sep=',')
99     SDtempout.tofile('SD/temp_'+str(year)+'.csv',sep=',')
100    SDuout.tofile('SD/u_'+str(year)+'.csv',sep=',')
101    SDvout.tofile('SD/v_'+str(year)+'.csv',sep=',')

```

```

102 SDdivout.tofile('SD/div_'+str(year)+'.csv',sep=',')
103 SDrhout.tofile('SD/rh_'+str(year)+'.csv',sep=',')
104 SDqlout.tofile('SD/ql_'+str(year)+'.csv',sep=',')
105 SDccout.tofile('SD/cc_'+str(year)+'.csv',sep=',')
106
107 pres=ds['level'].data.squeeze()
108 pres.tofile('SD/preslevels.csv',sep=',')
109
110 # Costa
111
112
113 c = cdsapi.Client()
114
115 # dataset to read: vertical profiles
116 dataset = 'reanalysis-era5-pressure-levels'
117
118 # flag to download data
119 download_flag = False
120
121 # 10 km frente a Miramar
122 # lat0=32.87382739400933
123 # lon0=-117.35931747121212
124
125 # 50 km frente a Miramar
126 #lat0=32.86868673997934
127 #lon0=-117.78828495567397
128
129 ele0=59
130 preslevels=[1, 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50, 70]
131 preslevels.extend(list(range(100, 1000, 25)))
132
133 # set dates
134 year=2017
135 ntime=len(pd.date_range(pd.datetime(year,1,1),pd.datetime(year,12,31,23,0,0),freq='H')) #
    ↳ length of expected time object for the year
136 nz=36 #len(preslevels) #expected height variable length
137 it=0
138
139 # initialize empty matrices to fill
140 SDCqtout=np.empty((ntime,nz))
141 SDCtempout=np.empty((ntime,nz))
142 SDCuout=np.empty((ntime,nz))
143 SDCvout=np.empty((ntime,nz))
144 SDCdivout=np.empty((ntime,nz))
145 SDCqlout=np.empty((ntime,nz))
146 SDCrhout=np.empty((ntime,nz))
147 SDCccout=np.empty((ntime,nz))
148 SDCtimeout=np.empty(ntime, dtype='datetime64[ns]')
149
150 for month in range(1,13): # go through all year, day by day
151     date0=pd.datetime(year,month,1)
152     date1=pd.datetime(year,month,calendar.monthrange(year,month)[1])

```

```

153 wanteddates=pd.date_range(date0,date1)
154 for datei in wanteddates:
155     # api parameters
156     params = {
157         'format': 'netcdf',
158         'product_type': 'reanalysis',
159         'variable': ['specific_humidity','temperature','u_component_of_wind',
160                     'v_component_of_wind','vertical_velocity','divergence',
161                     'relative_humidity','specific_cloud_liquid_water_content',
162                     'fraction_of_cloud_cover'],
163         'pressure_level':preslevels,
164         'year': [datei.strftime('%Y')], #[2020],
165         'month': [datei.strftime('%m')], #[01], [str(i).zfill(2) for i in range(0,13)],
166         'day': [datei.strftime('%d')], #[01],[str(i).zfill(2) for i in range(0,32)],
167         'time': [str(i).zfill(2)+' :00' for i in range(0,24)],
168         'grid': [0.25, 0.25],
169         'area': [lat0-.1, lon0-.1, lat0+.1, lon0+.1], #.1 gives single point data
170     }
171
172     # retrieves the path to the file
173     fl = c.retrieve(dataset, params)
174
175     # download the file
176     if download_flag:
177         fl.download("./output.nc")
178
179     # load into memory
180     with urlopen(fl.location) as f:
181         ds = xr.open_dataset(f.read())
182
183     t=ds['time'].data
184     nt=len(t)
185
186     SDCtimeout[it:it+nt]=t
187     SDCqtout[it:it+nt,:]=ds['q'].data.squeeze()
188     SDCtempout[it:it+nt,:]=ds['t'].data.squeeze()
189     SDCuout[it:it+nt,:]=ds['u'].data.squeeze()
190     SDCvout[it:it+nt,:]=ds['v'].data.squeeze()
191     SDCdivout[it:it+nt,:]=ds['d'].data.squeeze()
192     SDCrhout[it:it+nt,:]=ds['r'].data.squeeze()
193     SDCqlout[it:it+nt,:]=ds['clwc'].data.squeeze()
194     SDCccout[it:it+nt,:]=ds['cc'].data.squeeze()
195
196     it=it+nt
197     print('=====')
198     print(datei)
199     print('=====')
200
201     # store results every month for safety
202     SDCtimeout.tofile('SDCOSTA/time_'+str(year)+'.csv',sep=',')
203     np.array(SDCtempout).tofile('SDCOSTA/temp_'+str(year)+'.csv',sep=',')
204     SDCqtout.tofile('SDCOSTA/qt_'+str(year)+'.csv',sep=',')

```

```

205 SDCtempout.tofile('SDCOSTA/temp_'+str(year)+'.csv',sep=',')
206 SDCuout.tofile('SDCOSTA/u_'+str(year)+'.csv',sep=',')
207 SDCvout.tofile('SDCOSTA/v_'+str(year)+'.csv',sep=',')
208 SDCdivout.tofile('SDCOSTA/div_'+str(year)+'.csv',sep=',')
209 SDCrhout.tofile('SDCOSTA/rh_'+str(year)+'.csv',sep=',')
210 SDCqlout.tofile('SDCOSTA/ql_'+str(year)+'.csv',sep=',')
211 SDCccout.tofile('SDCOSTA/cc_'+str(year)+'.csv',sep=',')
212
213 pres=ds['level'].data.squeeze()
214 pres.tofile('SDCOSTA/preslevels.csv',sep=',')
215

```

B.2. LES

Código B.4: Código utilizado para analizar los datos de LES.

```

1 import numpy as np
2 import netCDF4 as nc
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import pandas as pd
5 from matplotlib.patches import Rectangle
6 from matplotlib.lines import Line2D
7
8 # Caso Arica Tierra
9
10 start=0
11 psAT = nc.Dataset('rf01AT.ps.nc', "r")
12 tAT = psAT.variables["time"][:].data
13 end1=len(tAT)
14 zAT = psAT.variables["zm"][:].data
15 rhoAT=psAT.variables["dn0"][:].data
16 pAT=psAT.variables["p"][:].data
17 tlAT=psAT.variables["t"][start:end1,:].data
18 qtAT=psAT.variables["q"][start:end1,:].data
19 qlAT=psAT.variables["l"][start:end1,:].data
20
21 w2AT=psAT.variables["w_2"][start:end1,:].data
22 wtlAT=psAT.variables["tot_tw"][start:end1,:].data
23 wqtAT=psAT.variables["tot_qw"][start:end1,:].data
24 wtl_sfsAT=psAT.variables["sfs_tw"][start:end1,:].data
25 wqt_sfsAT=psAT.variables["sfs_qw"][start:end1,:].data
26
27 boy_prdAT=psAT.variables["boy_prd"][start:end1,:].data
28 sfs_boyAT=psAT.variables["sfs_boy"][start:end1,:].data
29 shr_prdAT=psAT.variables["shr_prd"][start:end1,:].data
30 sfs_shrAT=psAT.variables["sfs_shr"][start:end1,:].data
31 transAT=psAT.variables["trans"][start:end1,:].data
32 dissAT=psAT.variables["diss"][start:end1,:].data
33
34 rfixAT=psAT.variables["rfix"][start:end1,:].data
35 sfixAT=psAT.variables["sfix"][start:end1,:].data

```

```

36
37     # eddy diffusivity m2/s
38 khAT=psAT.variables['kh'][start:end1,:].data
39     # eddy viscosity m2/s
40 kmAT=psAT.variables['km'][start:end1,:].data
41     # mixing lengthscale m
42 lmbdAT=psAT.variables['lmbd'][start:end1,:].data
43     # dissipation lengthscale m
44 lmbdeAT=psAT.variables['lmbde'][start:end1,:].data
45
46 tsAT = nc.Dataset('rf01AT.ts.nc', "r")
47 tAT = tsAT.variables["time"][:].data
48 end1=len(tAT)
49
50 maxdivAT = tsAT.variables['maxdiv'][start:end1].data
51 ziAT=tsAT.variables['zi1_bar'][start:end1].data
52 sfcblxAT=tsAT.variables['sfcblx'][start:end1].data
53 wmaxAT=tsAT.variables['wmax'][start:end1].data
54 lwp_barAT=tsAT.variables['lwp_bar'][start:end1].data
55 lwp_varAT=tsAT.variables['lwp_var'][start:end1].data
56 cfracAT=tsAT.variables['cfrac'][start:end1].data
57 lmaxAT=tsAT.variables['lmax'][start:end1].data
58 zcmnAT=tsAT.variables['zcmn'][start:end1].data
59 zbmNAT=tsAT.variables['zbnm'][start:end1].data
60 tkeintAT=tsAT.variables['tkeint'][start:end1].data
61 shfAT=tsAT.variables['shf_bar'][start:end1].data
62 lhsAT=tsAT.variables['lhs_bar'][start:end1].data
63 swftAT=tsAT.variables['sfxdsc'][start:end1].data
64 swAT=tsAT.variables['sfxds'][start:end1].data
65 tsrfAT=tsAT.variables['tsrf'][start:end1].data
66
67 # Caso Arica Mar
68
69 start=0
70 psAM = nc.Dataset('rf01AM.ps.nc', "r")
71 tAM = psAM.variables["time"][:].data
72 end2=len(tAM)
73 zAM = psAM.variables["zm"][:].data
74 rhoAM=psAM.variables['dn0'][:].data
75 pAM=psAM.variables['p'][:].data
76 tlAM=psAM.variables["t"][start:end2,:].data
77 qtAM=psAM.variables['q'][start:end2,:].data
78 qlAM=psAM.variables['l'][start:end2,:].data
79
80 w2AM=psAM.variables["w_2"][start:end2,:].data
81 wtlAM=psAM.variables['tot_tw'][start:end2,:].data
82 wqtAM=psAM.variables['tot_qw'][start:end2,:].data
83 wtl_sfsAM=psAM.variables['sfs_tw'][start:end2,:].data
84 wqt_sfsAM=psAM.variables['sfs_qw'][start:end2,:].data
85
86 boy_prdAM=psAM.variables['boy_prd'][start:end2,:].data
87 sfs_boyAM=psAM.variables['sfs_boy'][start:end2,:].data

```

```

88 shr_prdAM=psAM.variables['shr_prd'][start:end2,:].data
89 sfs_shrAM=psAM.variables['sfs_shr'][start:end2,:].data
90 transAM=psAM.variables['trans'][start:end2,:].data
91 dissAM=psAM.variables['diss'][start:end2,:].data
92
93 rflxAM=psAM.variables['rflx'][start:end2,:].data
94 sflxAM=psAM.variables['sflx'][start:end2,:].data
95
96     # eddy diffusivity m2/s
97 khAM=psAM.variables['kh'][start:end2,:].data
98     # eddy viscosity m2/s
99 kmAM=psAM.variables['km'][start:end2,:].data
100     # mixing lengthscale m
101 lmbdAM=psAM.variables['lmbd'][start:end2,:].data
102     # dissipation lengthscale m
103 lmbdeAM=psAM.variables['lmbde'][start:end2,:].data
104
105 tsAM = nc.Dataset('rf01AM.ts.nc', "r")
106 tAM = tsAM.variables["time"][:].data
107 end2=len(tAM)
108
109 maxdivAM = tsAM.variables['maxdiv'][start:end2].data
110 ziAM=tsAM.variables['zi_bar'][start:end2].data
111 sfcbflxAM=tsAM.variables['sfcbflx'][start:end2].data
112 wmaxAM=tsAM.variables['wmax'][start:end2].data
113 lwp_barAM=tsAM.variables['lwp_bar'][start:end2].data
114 lwp_varAM=tsAM.variables['lwp_var'][start:end2].data
115 cfracAM=tsAM.variables['cfrac'][start:end2].data
116 lmaxAM=tsAM.variables['lmax'][start:end2].data
117 zcmnAM=tsAM.variables['zcmn'][start:end2].data
118 zbmnmAM=tsAM.variables['zbmnm'][start:end2].data
119 tkeintAM=tsAM.variables['tkeint'][start:end2].data
120 shfAM=tsAM.variables['shf_bar'][start:end2].data
121 lhfAM=tsAM.variables['lhf_bar'][start:end2].data
122 swftAM=tsAM.variables['sflxdsc'][start:end2].data
123 swAM=tsAM.variables['sflxdsc'][start:end2].data
124 tsrfAM=tsAM.variables['tsrf'][start:end2].data
125
126 #CASO ANTOFAGASTA TIERRA
127
128 start=0
129 psANTOFT = nc.Dataset('rf01ANTOFT.ps.nc', "r")
130 tANTOFT = psANTOFT.variables["time"][:].data
131 end3=len(tANTOFT)
132 zANTOFT = psANTOFT.variables["zm"][:].data
133 rhoANTOFT=psANTOFT.variables['dn0'][:].data
134 pANTOFT=psANTOFT.variables['p'][:].data
135 tlANTOFT=psANTOFT.variables["t"][start:end3,:].data
136 qtANTOFT=psANTOFT.variables['q'][start:end3,:].data
137 qlANTOFT=psANTOFT.variables['l'][start:end3,:].data
138
139 w2ANTOFT=psANTOFT.variables["w_2"][start:end3,:].data

```

```

140 wtlANTOFT=psANTOFT.variables['tot_tw'][start:end3,:].data
141 wqtANTOFT=psANTOFT.variables['tot_qw'][start:end3,:].data
142 wtl_sfsANTOFT=psANTOFT.variables['sfs_tw'][start:end3,:].data
143 wqt_sfsANTOFT=psANTOFT.variables['sfs_qw'][start:end3,:].data
144
145 boy_prdANTOFT=psANTOFT.variables['boy_prd'][start:end3,:].data
146 sfs_boyANTOFT=psANTOFT.variables['sfs_boy'][start:end3,:].data
147 shr_prdANTOFT=psANTOFT.variables['shr_prd'][start:end3,:].data
148 sfs_shrANTOFT=psANTOFT.variables['sfs_shr'][start:end3,:].data
149 transANTOFT=psANTOFT.variables['trans'][start:end3,:].data
150 dissANTOFT=psANTOFT.variables['diss'][start:end3,:].data
151
152 rflxANTOFT=psANTOFT.variables['rflx'][start:end3,:].data
153 sflxANTOFT=psANTOFT.variables['sflx'][start:end3,:].data
154
155     # eddy diffusivity m2/s
156 khANTOFT=psANTOFT.variables['kh'][start:end3,:].data
157     # eddy viscosity m2/s
158 kmANTOFT=psANTOFT.variables['km'][start:end3,:].data
159     # mixing lengthscale m
160 lmbdANTOFT=psANTOFT.variables['lmbd'][start:end3,:].data
161     # dissipation lengthscale m
162 lmbdeANTOFT=psANTOFT.variables['lmbde'][start:end3,:].data
163
164 tsANTOFT = nc.Dataset('rf01ANTOFT.ts.nc', "r")
165 tANTOFT = tsANTOFT.variables["time"][:].data
166 end3=len(tANTOFT)
167
168 maxdivANTOFT = tsANTOFT.variables['maxdiv'][start:end3].data
169 ziANTOFT=tsANTOFT.variables['zi1_bar'][start:end3].data
170 sfcbflxANTOFT=tsANTOFT.variables['sfcbflx'][start:end3].data
171 wmaxANTOFT=tsANTOFT.variables['wmax'][start:end3].data
172 lwp_barANTOFT=tsANTOFT.variables['lwp_bar'][start:end3].data
173 lwp_varANTOFT=tsANTOFT.variables['lwp_var'][start:end3].data
174 cfracANTOFT=tsANTOFT.variables['cfrac'][start:end3].data
175 lmaxANTOFT=tsANTOFT.variables['lmax'][start:end3].data
176 zcmnANTOFT=tsANTOFT.variables['zcmn'][start:end3].data
177 zbmnanTOFT=tsANTOFT.variables['zbmnan'][start:end3].data
178 tkeintANTOFT=tsANTOFT.variables['tkeint'][start:end3].data
179 shfANTOFT=tsANTOFT.variables['shf_bar'][start:end3].data
180 lhfANTOFT=tsANTOFT.variables['lhf_bar'][start:end3].data
181 swftANTOFT=tsANTOFT.variables['sflxdsc'][start:end3].data
182 swANTOFT=tsANTOFT.variables['sflxdsc'][start:end3].data
183 tsrfANTOFT=tsANTOFT.variables['tsrf'][start:end3].data
184
185 #CASO ANTOFAGASTA MAR
186
187 start=0
188 psANTOFM = nc.Dataset('rf01ANTOFM.ps.nc', "r")
189 tANTOFM = psANTOFM.variables["time"][:].data
190 end4=len(tANTOFM)
191 zANTOFM = psANTOFM.variables["zm"][:].data

```

```

192 rhoANTOFM=psANTOFM.variables['dn0'][:].data
193 pANTOFM=psANTOFM.variables['p'][:].data
194 tlANTOFM=psANTOFM.variables["t"][start:end4,:].data
195 qtANTOFM=psANTOFM.variables['q'][start:end4,:].data
196 qlANTOFM=psANTOFM.variables['l'][start:end4,:].data
197
198 w2ANTOFM=psANTOFM.variables["w_2"][start:end4,:].data
199 wtlANTOFM=psANTOFM.variables['tot_tw'][start:end4,:].data
200 wqtANTOFM=psANTOFM.variables['tot_qw'][start:end4,:].data
201 wtl_sfsANTOFM=psANTOFM.variables['sfs_tw'][start:end4,:].data
202 wqt_sfsANTOFM=psANTOFM.variables['sfs_qw'][start:end4,:].data
203
204 boy_prdANTOFM=psANTOFM.variables['boy_prd'][start:end4,:].data
205 sfs_boyANTOFM=psANTOFM.variables['sfs_boy'][start:end4,:].data
206 shr_prdANTOFM=psANTOFM.variables['shr_prd'][start:end4,:].data
207 sfs_shrANTOFM=psANTOFM.variables['sfs_shr'][start:end4,:].data
208 transANTOFM=psANTOFM.variables['trans'][start:end4,:].data
209 dissANTOFM=psANTOFM.variables['diss'][start:end4,:].data
210
211 rflxANTOFM=psANTOFM.variables['rflx'][start:end4,:].data
212 sflxANTOFM=psANTOFM.variables['sflx'][start:end4,:].data
213
214     # eddy diffusivity m2/s
215 khANTOFM=psANTOFM.variables['kh'][start:end4,:].data
216     # eddy viscosity m2/s
217 kmANTOFM=psANTOFM.variables['km'][start:end4,:].data
218     # mixing lengthscale m
219 lmbdANTOFM=psANTOFM.variables['lmbd'][start:end4,:].data
220     # dissipation lengthscale m
221 lmbdeANTOFM=psANTOFM.variables['lmbde'][start:end4,:].data
222
223 tsANTOFM = nc.Dataset('rf01ANTOFM.ts.nc', "r")
224 tANTOFM = tsANTOFM.variables["time"][:].data
225 end4=len(tANTOFM)
226
227 maxdivANTOFM = tsANTOFM.variables['maxdiv'][start:end4].data
228 ziANTOFM=tsANTOFM.variables['zi_bar'][start:end4].data
229 sfcblxANTOFM=tsANTOFM.variables['sfcblx'][start:end4].data
230 wmaxANTOFM=tsANTOFM.variables['wmax'][start:end4].data
231 lwp_barANTOFM=tsANTOFM.variables['lwp_bar'][start:end4].data
232 lwp_varANTOFM=tsANTOFM.variables['lwp_var'][start:end4].data
233 cfracANTOFM=tsANTOFM.variables['cfrac'][start:end4].data
234 lmaxANTOFM=tsANTOFM.variables['lmax'][start:end4].data
235 zcmnANTOFM=tsANTOFM.variables['zcmn'][start:end4].data
236 zbmNANTOFM=tsANTOFM.variables['zbmN'][start:end4].data
237 tkeintANTOFM=tsANTOFM.variables['tkeint'][start:end4].data
238 shfANTOFM=tsANTOFM.variables['shf_bar'][start:end4].data
239 lhfANTOFM=tsANTOFM.variables['lhf_bar'][start:end4].data
240 swftANTOFM=tsANTOFM.variables['sflxdsc'][start:end4].data
241 swANTOFM=tsANTOFM.variables['sflxds'][start:end4].data
242 tsrfANTOFM=tsANTOFM.variables['tsrf'][start:end4].data
243

```

```

244 #CASO SAN DIEGO TIERRA
245
246 start=0
247 psSDT = nc.Dataset('rf01SDT.ps.nc', "r")
248 tSDT = psSDT.variables["time"][:].data
249 end5=len(tSDT)
250 zSDT = psSDT.variables["zm"][:].data
251 rhoSDT=psSDT.variables['dn0'][:].data
252 pSDT=psSDT.variables['p'][:].data
253 tlSDT=psSDT.variables["t"][start:end5,:].data
254 qtSDT=psSDT.variables['q'][start:end5,:].data
255 qlSDT=psSDT.variables['l'][start:end5,:].data
256
257 w2SDT=psSDT.variables["w_2"][start:end5,:].data
258 wt1SDT=psSDT.variables['tot_tw'][start:end5,:].data
259 wqtSDT=psSDT.variables['tot_qw'][start:end5,:].data
260 wt1_sfsSDT=psSDT.variables['sfs_tw'][start:end5,:].data
261 wqt_sfsSDT=psSDT.variables['sfs_qw'][start:end5,:].data
262
263 boy_prdSDT=psSDT.variables['boy_prd'][start:end5,:].data
264 sfs_boySDT=psSDT.variables['sfs_boy'][start:end5,:].data
265 shr_prdSDT=psSDT.variables['shr_prd'][start:end5,:].data
266 sfs_shrSDT=psSDT.variables['sfs_shr'][start:end5,:].data
267 transSDT=psSDT.variables['trans'][start:end5,:].data
268 dissSDT=psSDT.variables['diss'][start:end5,:].data
269
270 rflxSDT=psSDT.variables['rflx'][start:end5,:].data
271 sflxSDT=psSDT.variables['sflx'][start:end5,:].data
272
273     # eddy diffusivity m2/s
274 khSDT=psSDT.variables['kh'][start:end5,:].data
275     # eddy viscosity m2/s
276 kmSDT=psSDT.variables['km'][start:end5,:].data
277     # mixing lengthscale m
278 lmbdSDT=psSDT.variables['lmbd'][start:end5,:].data
279     # dissipation lengthscale m
280 lmbdeSDT=psSDT.variables['lmbde'][start:end5,:].data
281
282 tsSDT = nc.Dataset('rf01SDT.ts.nc', "r")
283 tSDT = tsSDT.variables["time"][:].data
284 end5=len(tSDT)
285
286 maxdivSDT = tsSDT.variables['maxdiv'][start:end5].data
287 ziSDT=tsSDT.variables['zi1_bar'][start:end5].data
288 sfcbflxSDT=tsSDT.variables['sfcbflx'][start:end5].data
289 wmaxSDT=tsSDT.variables['wmax'][start:end5].data
290 lwp_barSDT=tsSDT.variables['lwp_bar'][start:end5].data
291 lwp_varSDT=tsSDT.variables['lwp_var'][start:end5].data
292 cfracSDT=tsSDT.variables['cfrac'][start:end5].data
293 lmaxSDT=tsSDT.variables['lmax'][start:end5].data
294 zcmnSDT=tsSDT.variables['zcmn'][start:end5].data
295 zbmnsSDT=tsSDT.variables['zbmn'][start:end5].data

```

```

296 tkeintSDT=tsSDT.variables['tkeint'][start:end5].data
297 shfSDT=tsSDT.variables['shf_bar'][start:end5].data
298 lhfSDT=tsSDT.variables['lhf_bar'][start:end5].data
299 swftSDT=tsSDT.variables['sflxdsc'][start:end5].data
300 swSDT=tsSDT.variables['sflxds'][start:end5].data
301 tsrfSDT=tsSDT.variables['tsrf'][start:end5].data
302
303 #CASO SAN DIEGO MAR 10KM
304
305 start=0
306 psSDM10 = nc.Dataset('rf01SDM10.ps.nc', "r")
307 tSDM10 = psSDM10.variables["time"][:].data
308 end6=len(tSDM10)
309 zSDM10 = psSDM10.variables["zm"][:].data
310 rhoSDM10=psSDM10.variables['dn0'][:].data
311 pSDM10=psSDM10.variables['p'][:].data
312 tlSDM10=psSDM10.variables["t"][start:end6,:].data
313 qtSDM10=psSDM10.variables['q'][start:end6,:].data
314 qlSDM10=psSDM10.variables['l'][start:end6,:].data
315
316 w2SDM10=psSDM10.variables["w_2"][start:end6,:].data
317 wt1SDM10=psSDM10.variables['tot_tw'][start:end6,:].data
318 wqtSDM10=psSDM10.variables['tot_qw'][start:end6,:].data
319 wt1_sfsSDM10=psSDM10.variables['sfs_tw'][start:end6,:].data
320 wqt_sfsSDM10=psSDM10.variables['sfs_qw'][start:end6,:].data
321
322 boy_prdSDM10=psSDM10.variables['boy_prd'][start:end6,:].data
323 sfs_boySDM10=psSDM10.variables['sfs_boy'][start:end6,:].data
324 shr_prdSDM10=psSDM10.variables['shr_prd'][start:end6,:].data
325 sfs_shrSDM10=psSDM10.variables['sfs_shr'][start:end6,:].data
326 transSDM10=psSDM10.variables['trans'][start:end6,:].data
327 dissSDM10=psSDM10.variables['diss'][start:end6,:].data
328
329 rflxSDM10=psSDM10.variables['rflx'][start:end6,:].data
330 sflxSDM10=psSDM10.variables['sflx'][start:end6,:].data
331
332 # eddy diffusivity m2/s
333 khSDM10=psSDM10.variables['kh'][start:end6,:].data
334 # eddy viscosity m2/s
335 kmSDM10=psSDM10.variables['km'][start:end6,:].data
336 # mixing lengthscale m
337 lmbdSDM10=psSDM10.variables['lmbd'][start:end6,:].data
338 # dissipation lengthscale m
339 lmbdeSDM10=psSDM10.variables['lmbde'][start:end6,:].data
340
341 tsSDM10 = nc.Dataset('rf01SDM10.ts.nc', "r")
342 tSDM10 = tsSDM10.variables["time"][:].data
343 end6=len(tSDM10)
344
345 maxdivSDM10 = tsSDM10.variables['maxdiv'][start:end6].data
346 ziSDM10=tsSDM10.variables['zi_bar'][start:end6].data
347 sfcblxSDM10=tsSDM10.variables['sfcblx'][start:end6].data

```

```

348 wmaxSDM10=tsSDM10.variables['wmax'][start:end6].data
349 lwp_barSDM10=tsSDM10.variables['lwp_bar'][start:end6].data
350 lwp_varSDM10=tsSDM10.variables['lwp_var'][start:end6].data
351 cfracSDM10=tsSDM10.variables['cfrac'][start:end6].data
352 lmaxSDM10=tsSDM10.variables['lmax'][start:end6].data
353 zcmnSDM10=tsSDM10.variables['zcmn'][start:end6].data
354 zbmnsSDM10=tsSDM10.variables['zbmns'][start:end6].data
355 tkeintSDM10=tsSDM10.variables['tkeint'][start:end6].data
356 shfSDM10=tsSDM10.variables['shf_bar'][start:end6].data
357 lhsSDM10=tsSDM10.variables['lhs_bar'][start:end6].data
358 swftSDM10=tsSDM10.variables['sflxdsc'][start:end6].data
359 swSDM10=tsSDM10.variables['sflxds'][start:end6].data
360 tsrfSDM10=tsSDM10.variables['tsrf'][start:end6].data
361
362 #CASO SAN DIEGO MAR 50KM
363
364 start=0
365 psSDM50 = nc.Dataset('rf01SDM50.ps.nc', "r")
366 tSDM50 = psSDM50.variables["time"][:].data
367 end7=len(tSDM50)
368 zSDM50 = psSDM50.variables["zm"][:].data
369 rhoSDM50=psSDM50.variables['dn0'][:].data
370 pSDM50=psSDM50.variables['p'][:].data
371 tlSDM50=psSDM50.variables["t"][start:end7,:].data
372 qtSDM50=psSDM50.variables['q'][start:end7,:].data
373 qlSDM50=psSDM50.variables['l'][start:end7,:].data
374
375 w2SDM50=psSDM50.variables["w_2"][start:end7,:].data
376 wtlSDM50=psSDM50.variables['tot_tw'][start:end7,:].data
377 wqtSDM50=psSDM50.variables['tot_qw'][start:end7,:].data
378 wtl_sfsSDM50=psSDM50.variables['sfs_tw'][start:end7,:].data
379 wqt_sfsSDM50=psSDM50.variables['sfs_qw'][start:end7,:].data
380
381 boy_prdSDM50=psSDM50.variables['boy_prd'][start:end7,:].data
382 sfs_boySDM50=psSDM50.variables['sfs_boy'][start:end7,:].data
383 shr_prdSDM50=psSDM50.variables['shr_prd'][start:end7,:].data
384 sfs_shrSDM50=psSDM50.variables['sfs_shr'][start:end7,:].data
385 transSDM50=psSDM50.variables['trans'][start:end7,:].data
386 dissSDM50=psSDM50.variables['diss'][start:end7,:].data
387
388 rflxSDM50=psSDM50.variables['rflx'][start:end7,:].data
389 sflxSDM50=psSDM50.variables['sflx'][start:end7,:].data
390
391 # eddy diffusivity m2/s
392 khSDM50=psSDM50.variables['kh'][start:end7,:].data
393 # eddy viscosity m2/s
394 kmSDM50=psSDM50.variables['km'][start:end7,:].data
395 # mixing lengthscale m
396 lmbdSDM50=psSDM50.variables['lmbd'][start:end7,:].data
397 # dissipation lengthscale m
398 lmbdeSDM50=psSDM50.variables['lmbde'][start:end7,:].data
399

```

```

400 tsSDM50 = nc.Dataset('rf01SDM50.ts.nc', "r")
401 tsSDM50 = tsSDM50.variables["time"][:].data
402 end7=len(tsSDM50)
403
404 maxdivSDM50 = tsSDM50.variables['maxdiv'][start:end7].data
405 ziSDM50=tsSDM50.variables['zi1_bar'][start:end7].data
406 sfcbfxSDM50=tsSDM50.variables['sfcbfx'][start:end7].data
407 wmaxSDM50=tsSDM50.variables['wmax'][start:end7].data
408 lwp_barSDM50=tsSDM50.variables['lwp_bar'][start:end7].data
409 lwp_varSDM50=tsSDM50.variables['lwp_var'][start:end7].data
410 cfracSDM50=tsSDM50.variables['cfrac'][start:end7].data
411 lmaxSDM50=tsSDM50.variables['lmax'][start:end7].data
412 zcmnSDM50=tsSDM50.variables['zcmn'][start:end7].data
413 zbmnsSDM50=tsSDM50.variables['zbmns'][start:end7].data
414 tkeintSDM50=tsSDM50.variables['tkeint'][start:end7].data
415 shfSDM50=tsSDM50.variables['shf_bar'][start:end7].data
416 lhfSDM50=tsSDM50.variables['lhf_bar'][start:end7].data
417 swftSDM50=tsSDM50.variables['sfixdsc'][start:end7].data
418 swSDM50=tsSDM50.variables['sfixds'][start:end7].data
419 tsrfSDM50=tsSDM50.variables['tsrf'][start:end7].data

```