UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

ARQUITECTURA
USM

ANEXO: MODELO SIR PARA EVALUACIÓN DE POSIBLE CONTAGIO COVID-19

Francisca Paullette Alejandra Díaz Risco

Anexo de memoria para optar al título de Arquitecta

Profesor Referente: Jorge León
Profesor Correferente: Claudio Torres

VALPARAÍSO, JULIO 2024

Al ejecutar las simulaciones y obtener distintas métricas sobre la densidad de población, se observó la necesidad de ir un paso más allá y contrastar la información de densidad de población con las interacciones entre los agentes, evaluando el riesgo de infección.

Para evaluar esta interacción, con el objetivo de identificar bajo qué circunstancias ocurren una mayor cantidad de contactos estrechos entre personas, se busca una forma de hacer esto con los datos generados por MassMotion de los casos a simulados.

Por tanto, junto con la recolección de datos sobre densidad y otras métricas, se recolectaron datos correspondientes a un modelo SIR implementado para evaluar la evolución de la cantidad de personas potencialmente contagiadas dentro de la universidad.

Este modelo SIR considera las siguientes características:

- Del total inicial de la población estudiantil:
    - El 20 % se considera Infectado
    - El 70 % se considera Susceptible
    - El 10 % se considera Recuperado
- Un “Posible Contagio” ocurre cuando un agente Infectado permanece más de 30 segundos a una distancia menor a 1 metro de un agente Susceptible.
- Un agente Infectado puede infectar como máximo a 3 agentes Susceptibles.

Resultados:
De la aplicación del modelo SIR descrito, se obtuvieron los siguientes resultados:

Estudiantes de la región de Valparaíso, con todas las porterías habilitadas:

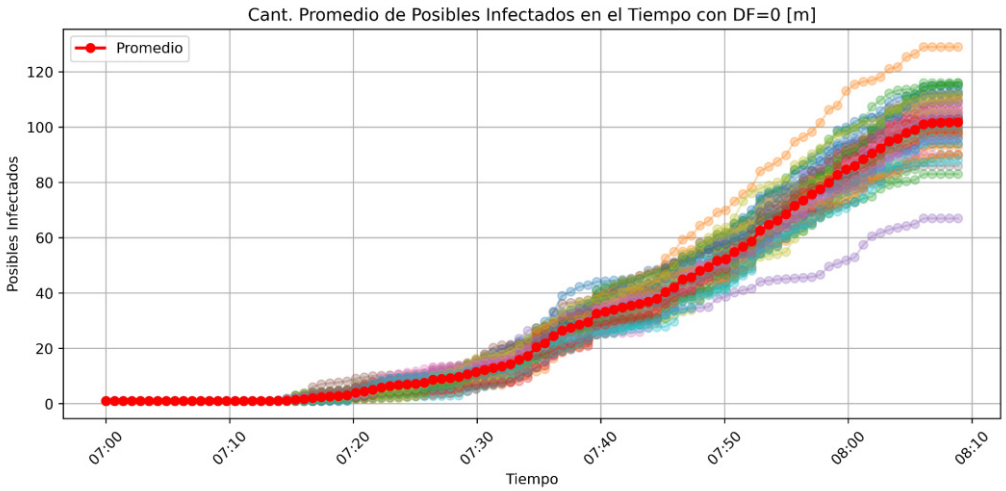


Figura 1: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 0 [m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

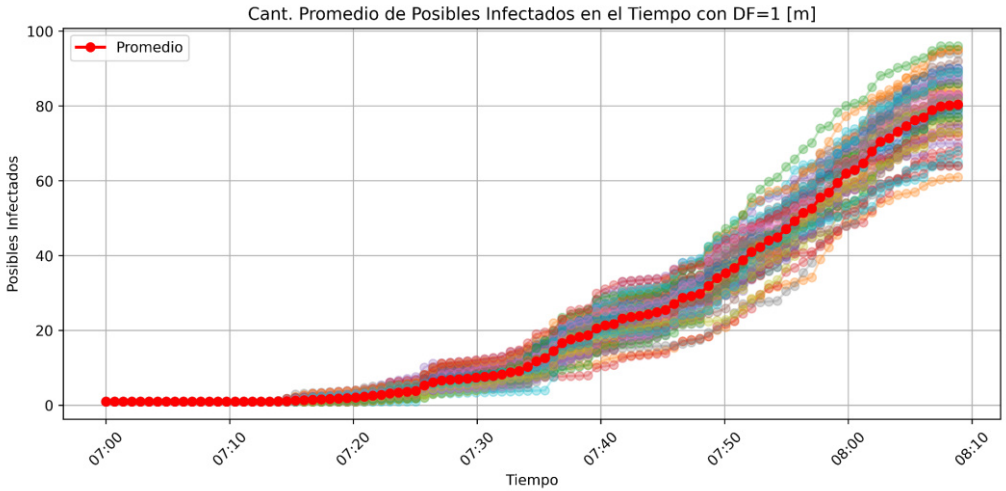


Figura 2: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1 [m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

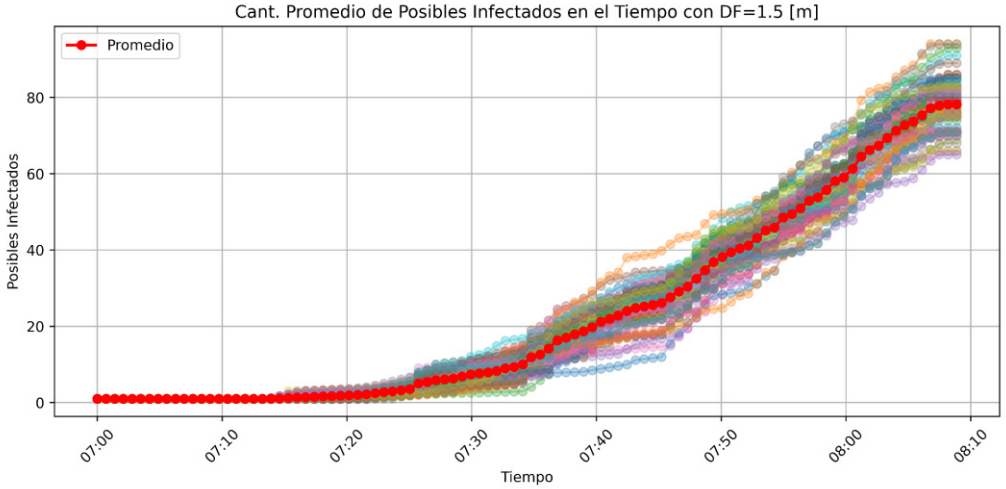


Figura 3: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1.5[m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

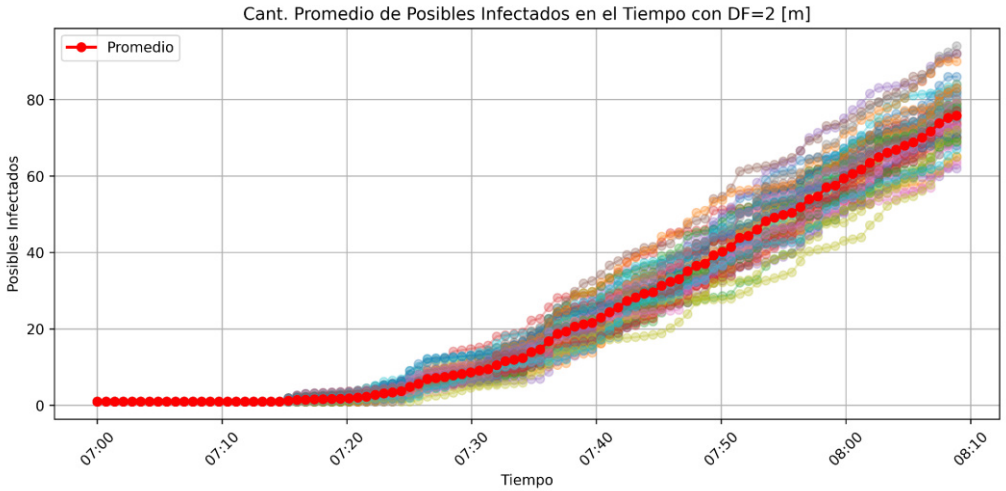


Figura 4: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 2[m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

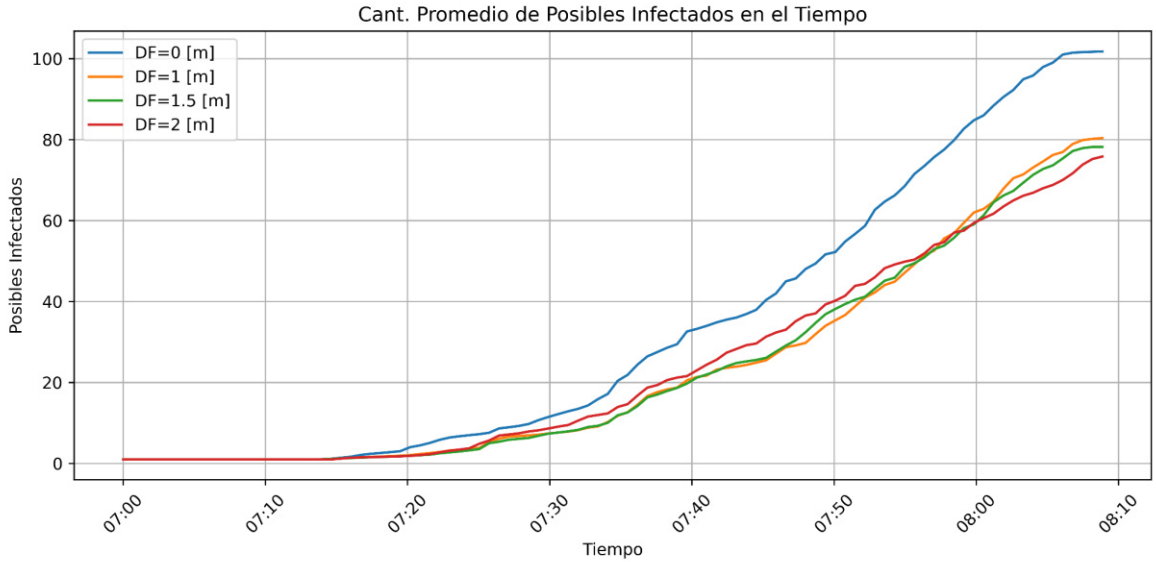


Figura 5: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con distintos valores de Distanciamiento Físico, para estudiantes de la región de Valparaíso, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

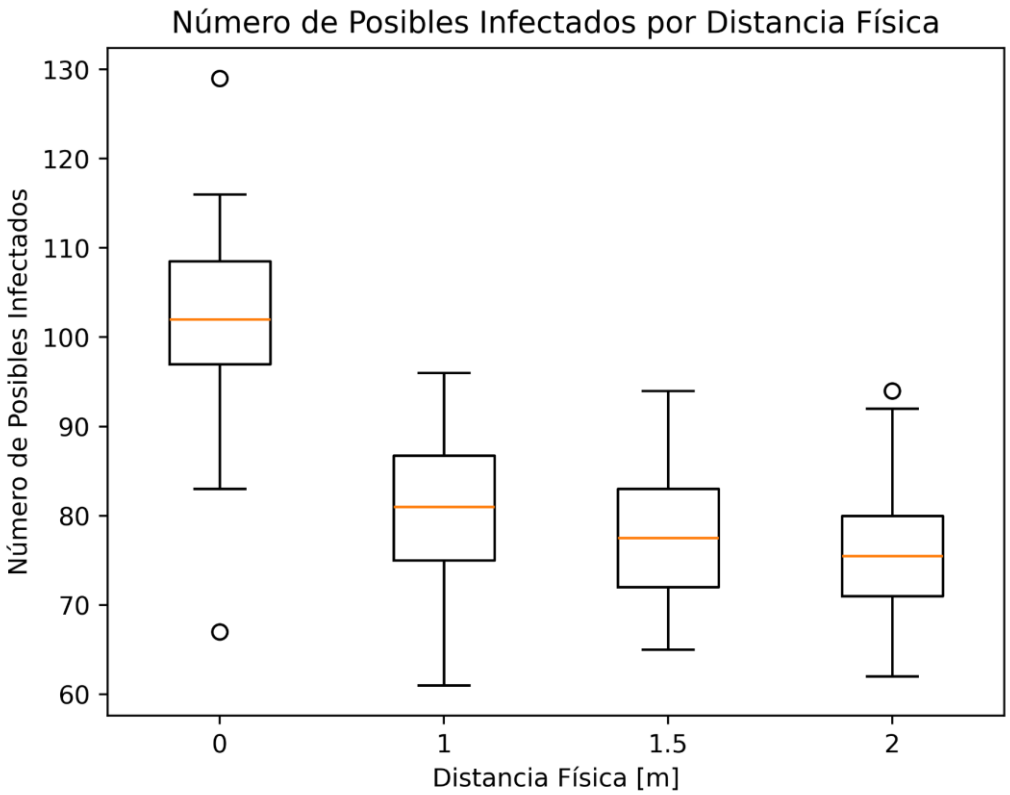


Figura 6: Diagrama de caja de la Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con distintos valores de Distanciamiento Físico, para estudiantes de la región de Valparaíso, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

Estudiantes de la región de Valparaíso, con porterías España y Placeres habilitadas:

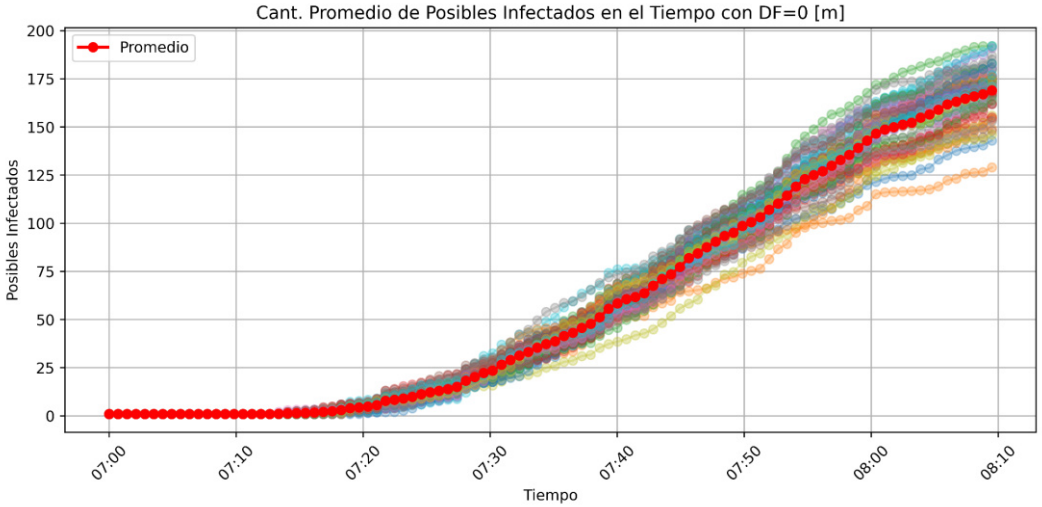


Figura 7: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 0 [m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

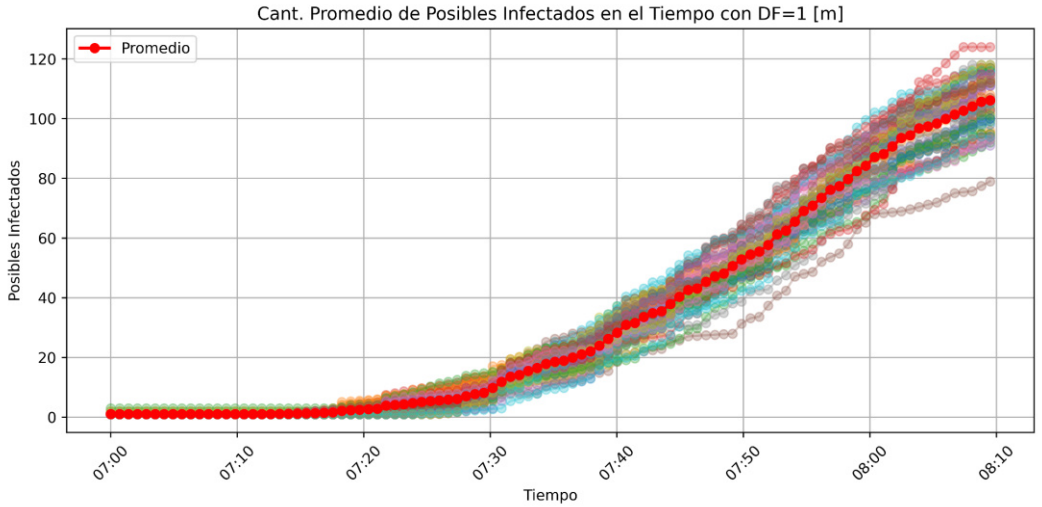


Figura 8: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1 [m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

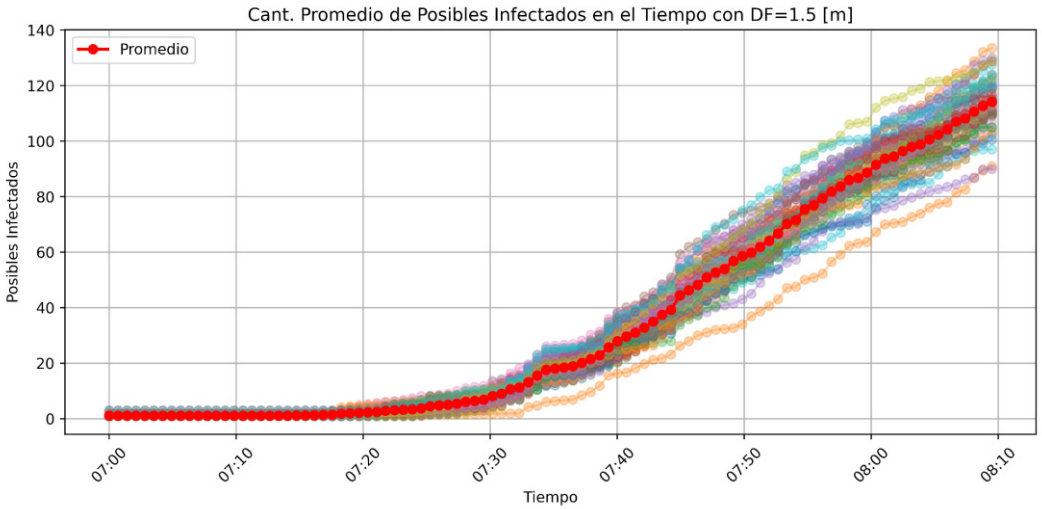


Figura 9: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1.5 [m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

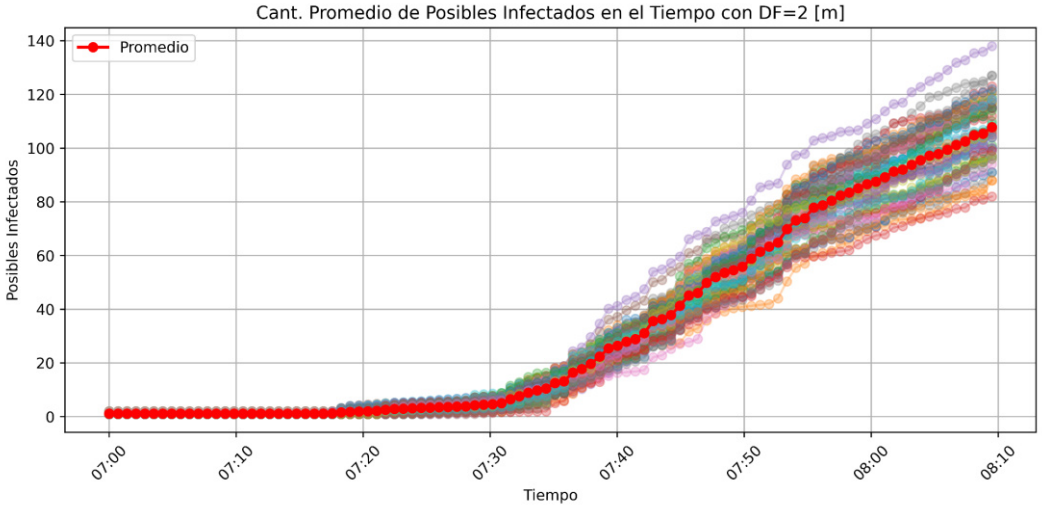


Figura 10: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 2 [m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

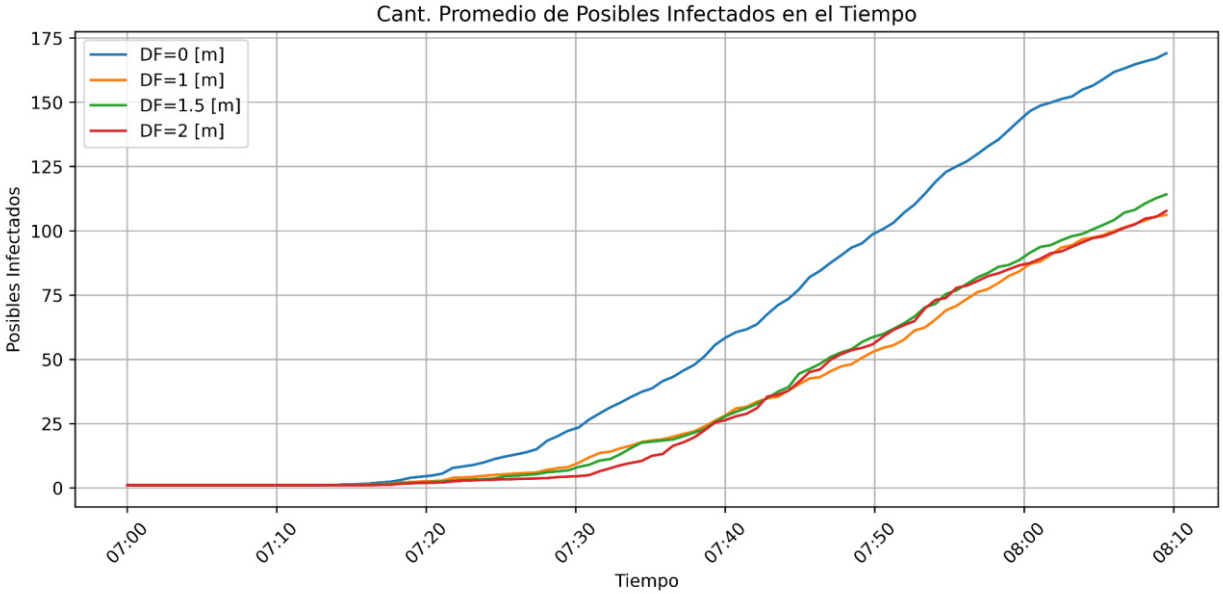


Figura 11: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con distintos valores de Distanciamiento Físico, para estudiantes de la región de Valparaíso, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

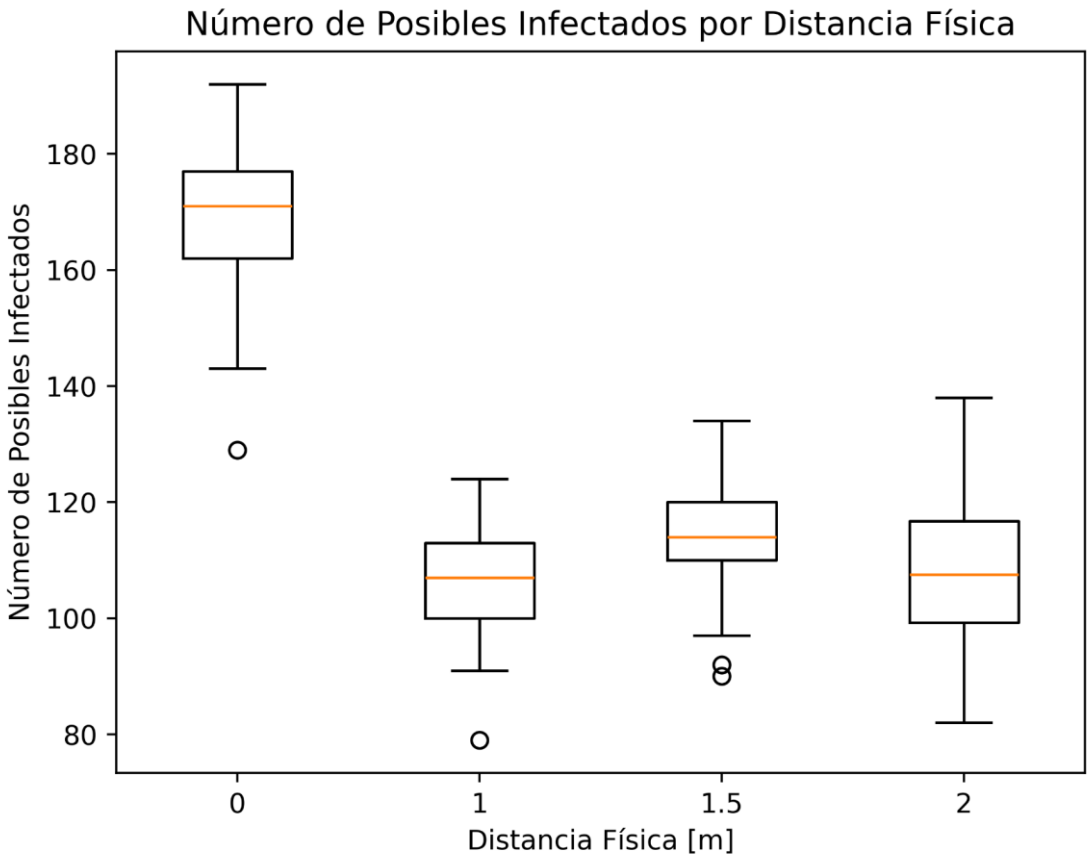


Figura 12: Diagrama de caja de la Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con distintos valores de Distanciamiento Físico, para estudiantes de la región de Valparaíso, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

Estudiantes de la región de Valparaíso, con solo portería Placeres habilitada:

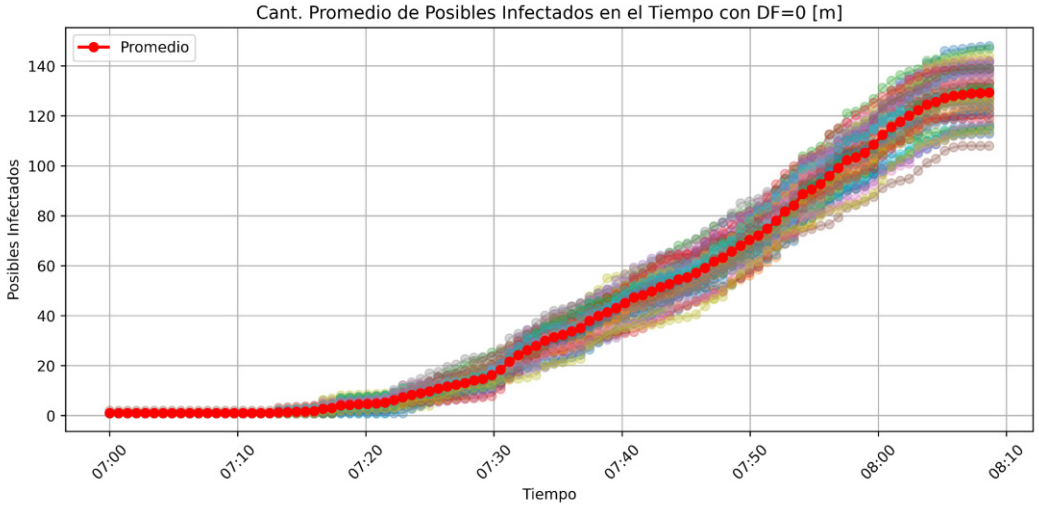


Figura 13: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 0 [m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con solo portería Placeres habilitada. (Elaboración propia).

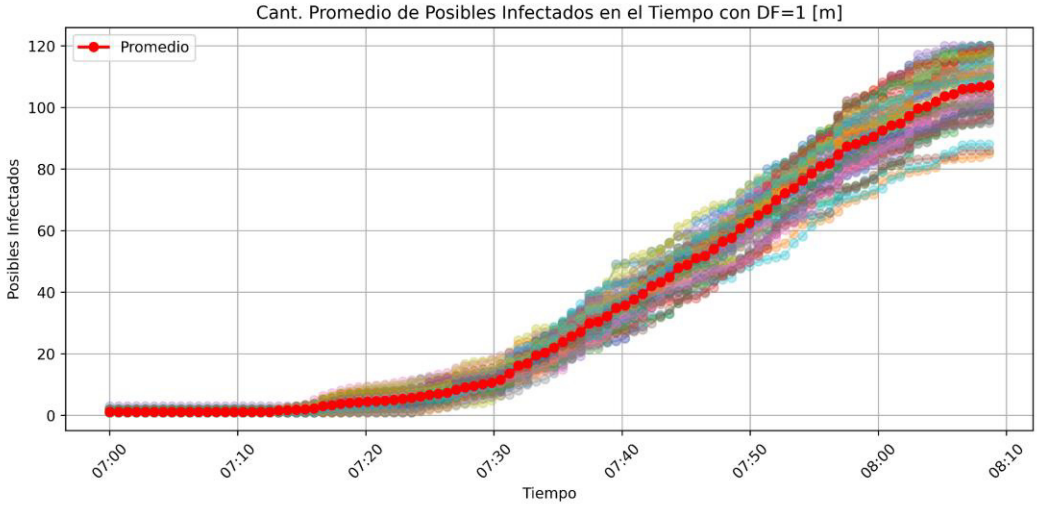


Figura 14: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1 [m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con solo portería Placeres habilitada. (Elaboración propia).

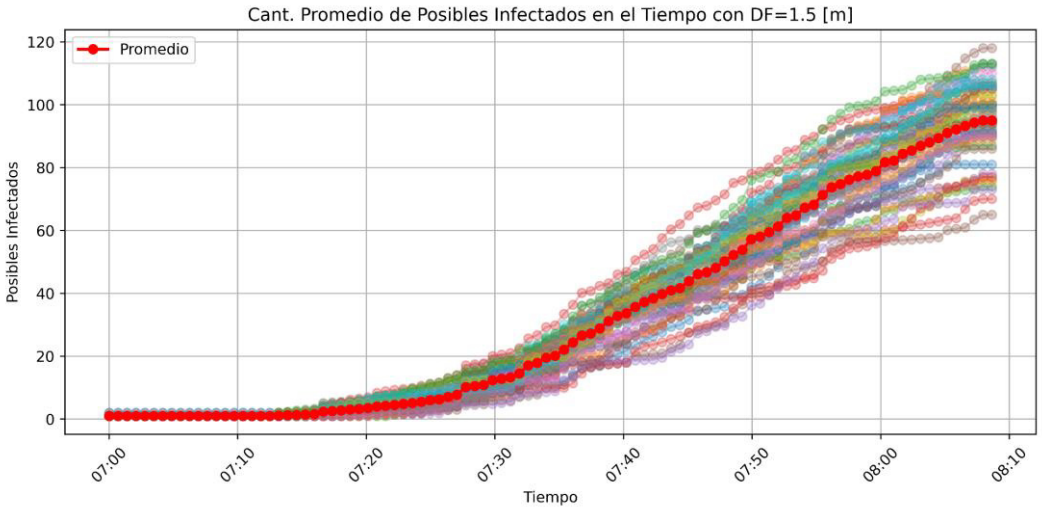


Figura 15: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1.5 [m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con solo portería Placeres habilitada. (Elaboración propia).

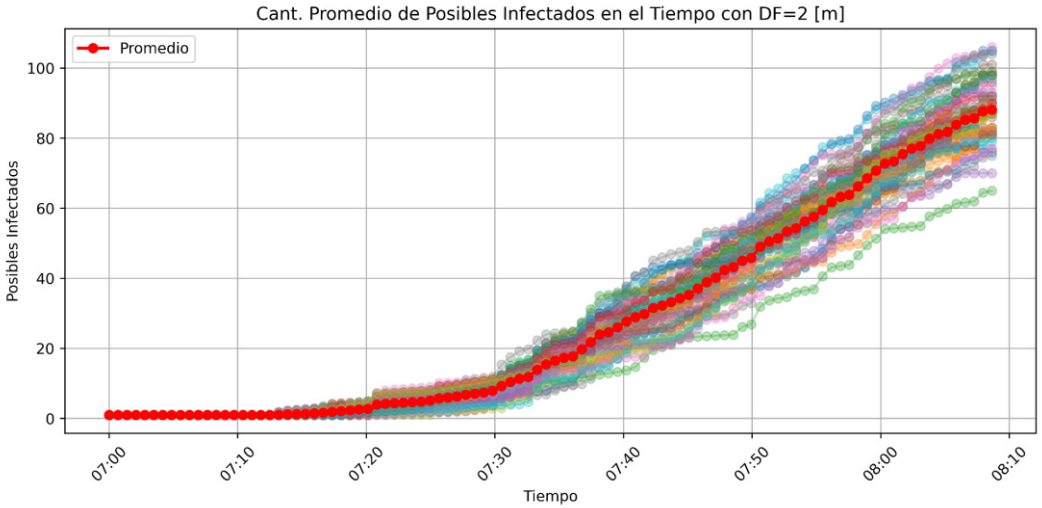


Figura 16: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 2 [m], para estudiantes de la región de Valparaíso, con solo portería Placeres habilitada. (Elaboración propia).

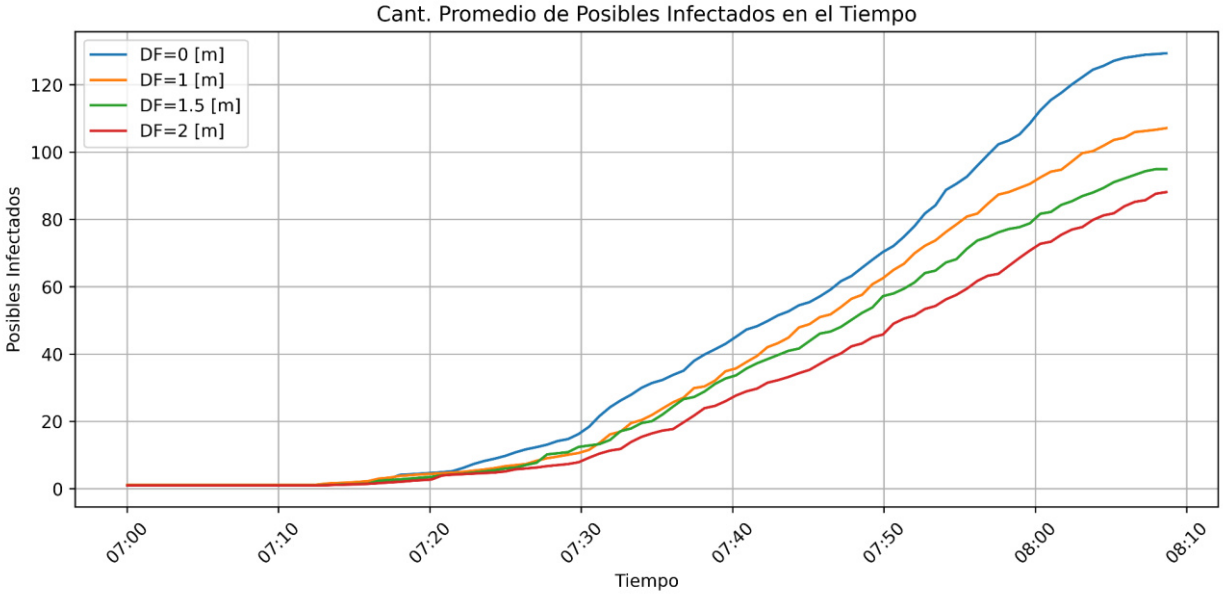


Figura 17: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con distintos valores de Distanciamiento Físico, para estudiantes de la región de Valparaíso, con solo portería Placeres habilitada. (Elaboración propia).

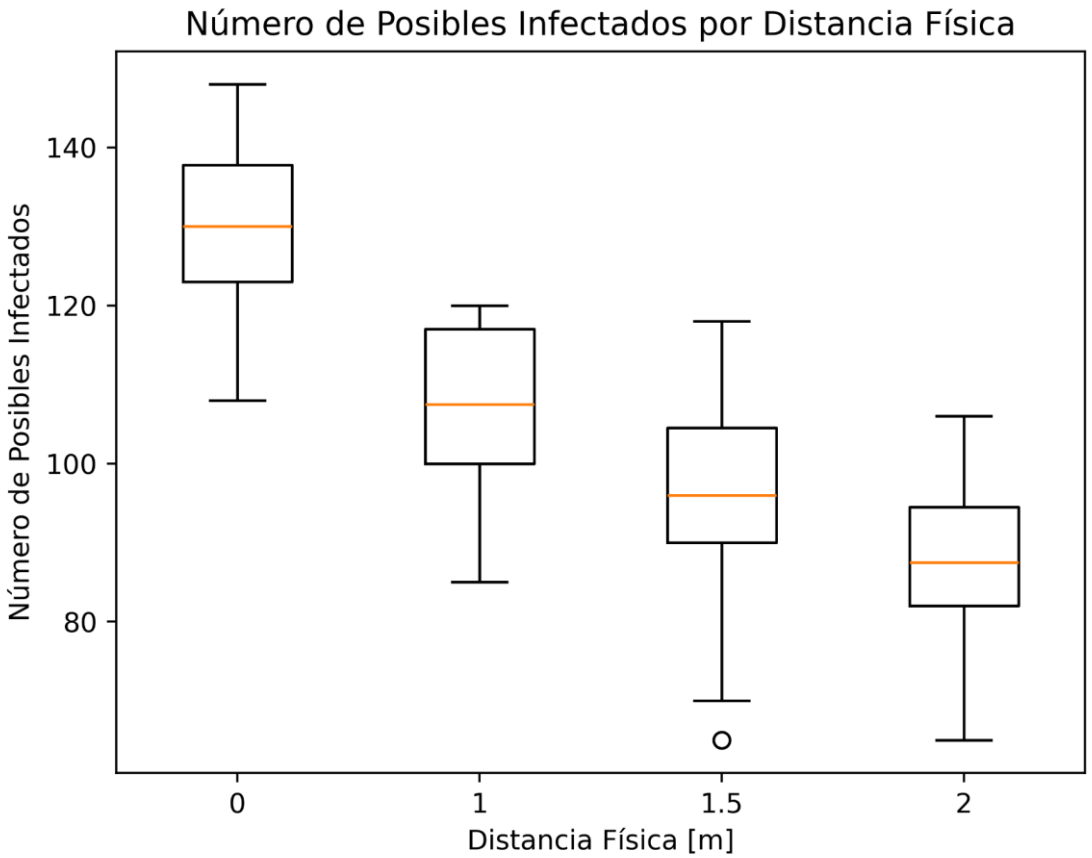


Figura 18: Diagrama de caja de la Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con distintos valores de Distanciamiento Físico, para estudiantes de la región de Valparaíso, con solo portería Placeres habilitada. (Elaboración propia).

Totalidad de Estudiantes, con todas las porterías habilitadas:

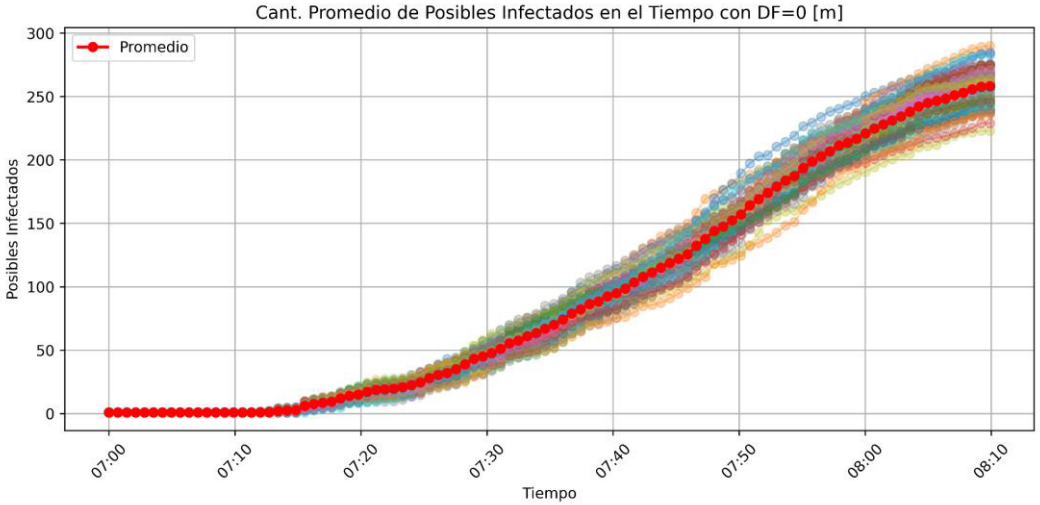


Figura 19: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 0 [m], para la totalidad de estudiantes, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

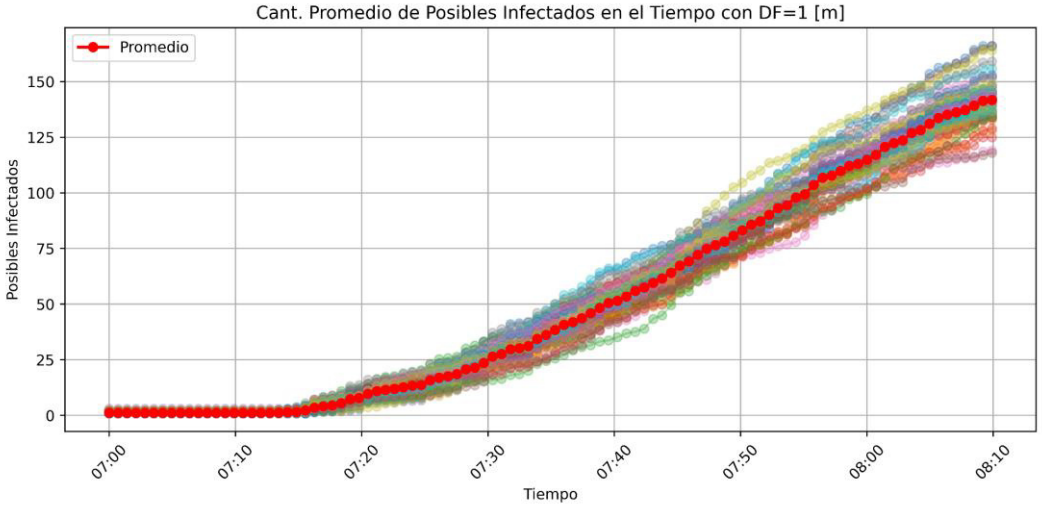


Figura 20: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1 [m], para la totalidad de estudiantes, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

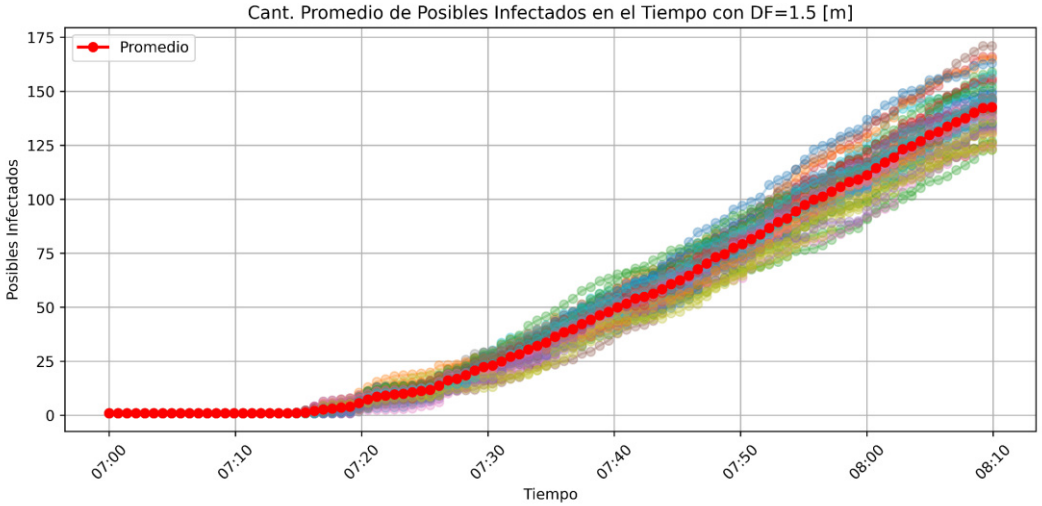


Figura 21: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1.5 [m], para la totalidad de estudiantes, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

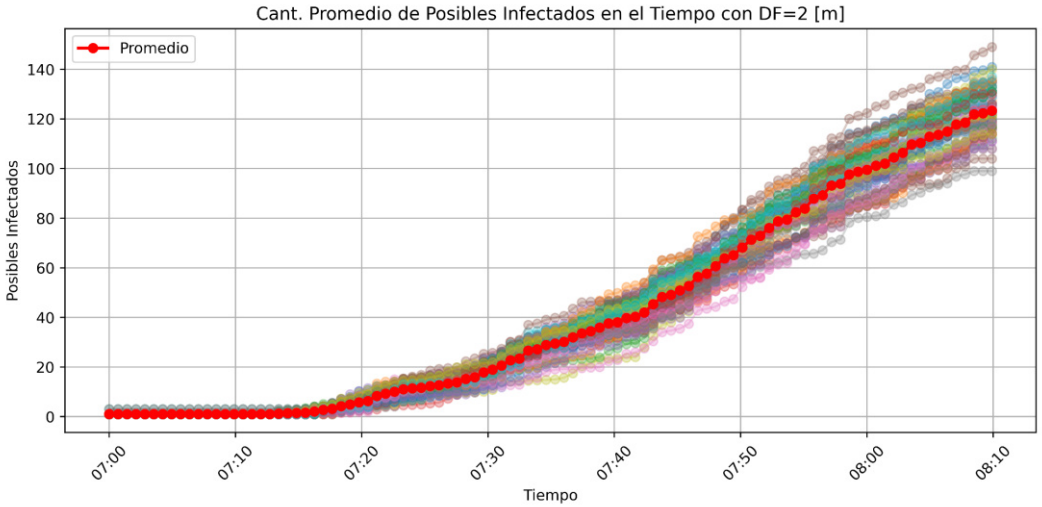


Figura 22: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 2 [m], para la totalidad de estudiantes, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

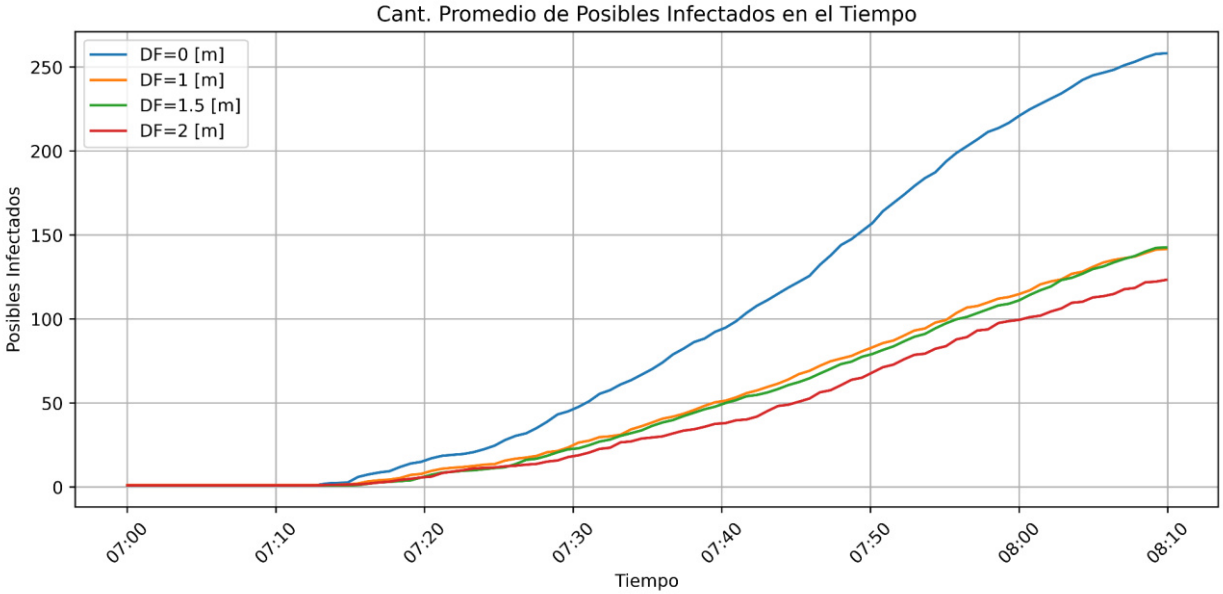


Figura 23: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con distintos valores de Distanciamiento Físico, para la totalidad de estudiantes, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

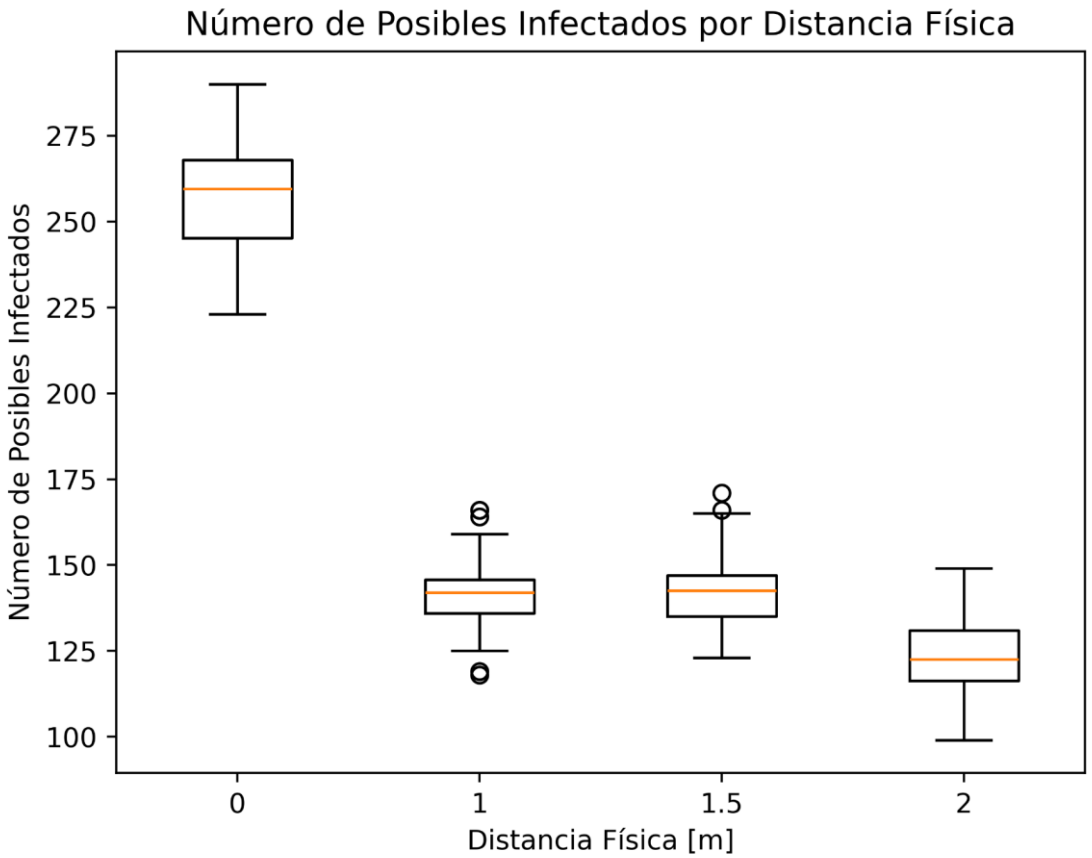


Figura 24: Diagrama de caja de la Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con distintos valores de Distanciamiento Físico, para la totalidad de estudiantes, con todas las porterías habilitadas. (Elaboración propia).

Totalidad de Estudiantes, con porterías España y Placeres habilitadas:

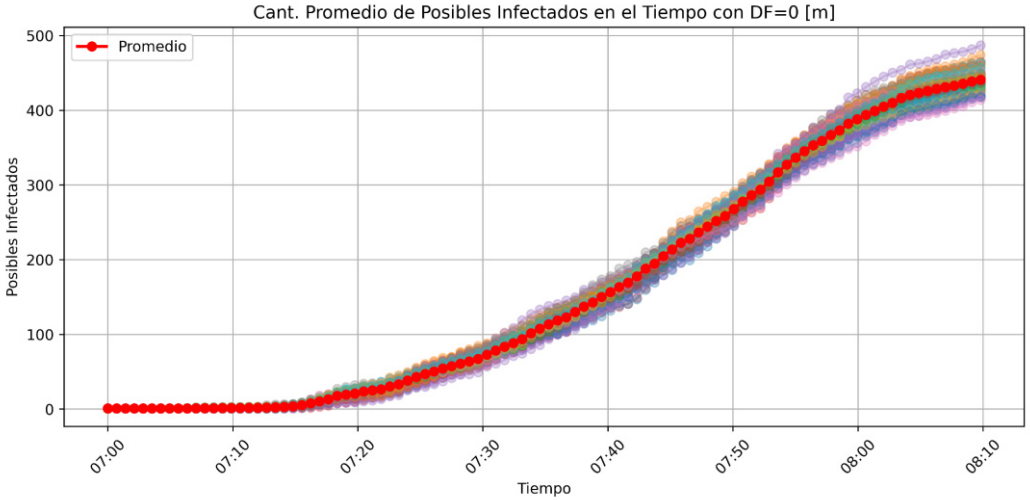


Figura 25: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 0 [m], para la totalidad de estudiantes, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

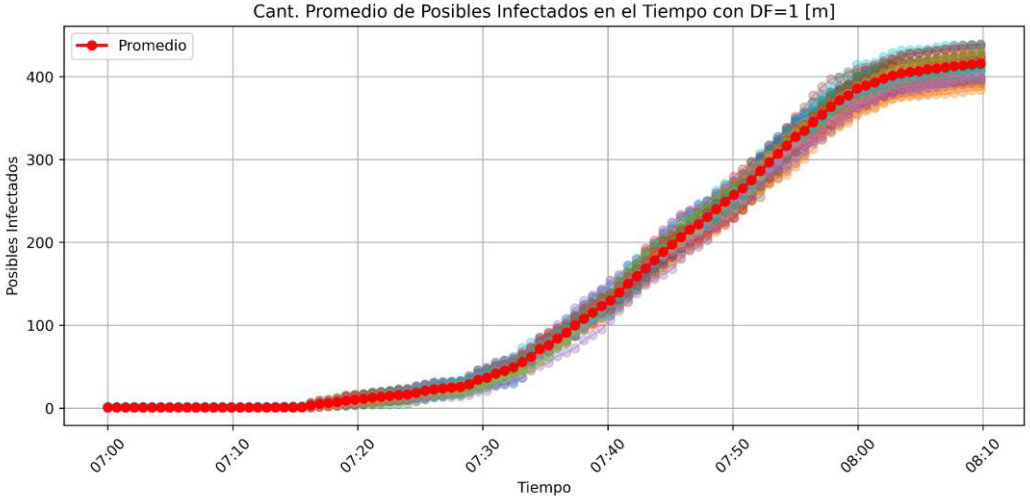


Figura 26: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1 [m], para la totalidad de estudiantes, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

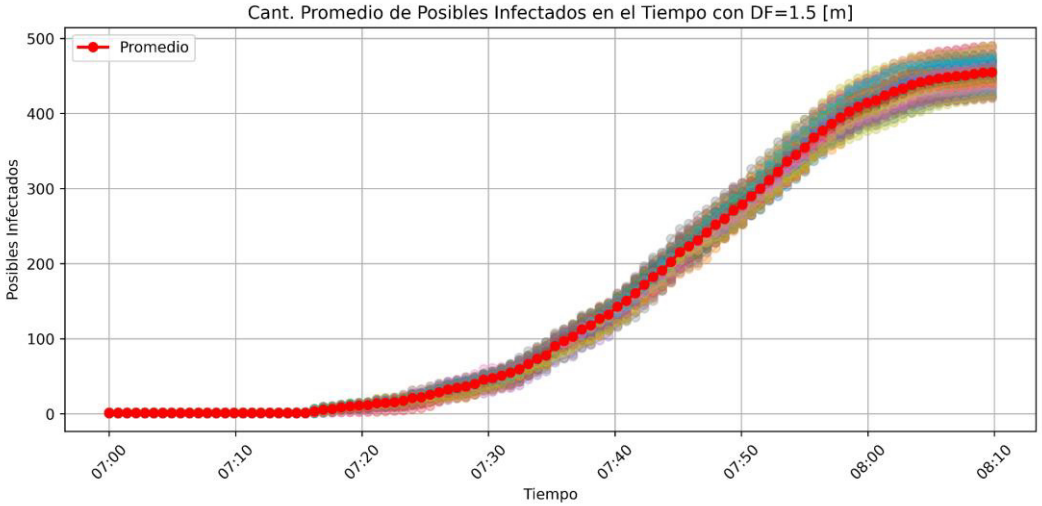


Figura 27: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1.5 [m], para la totalidad de estudiantes, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

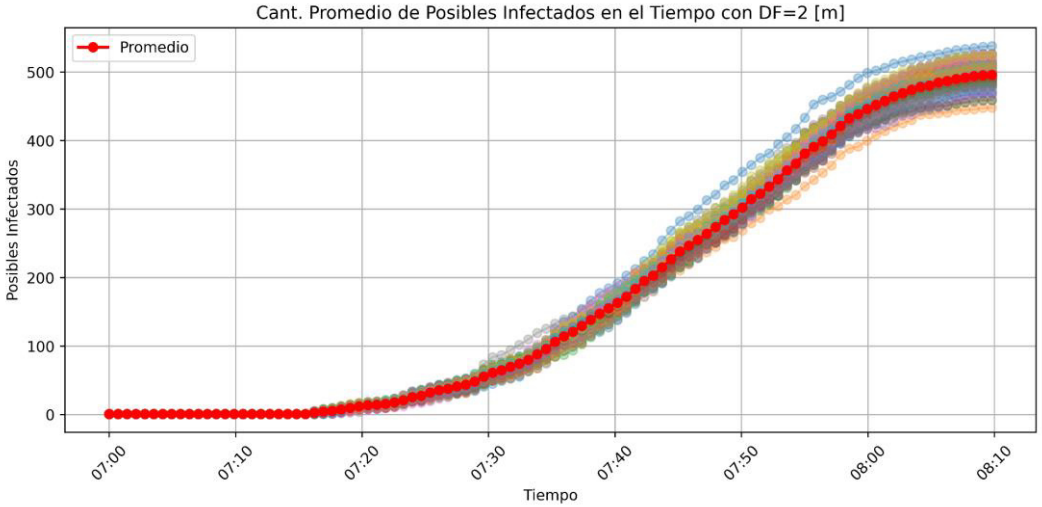


Figura 28: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 2 [m], para la totalidad de estudiantes, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

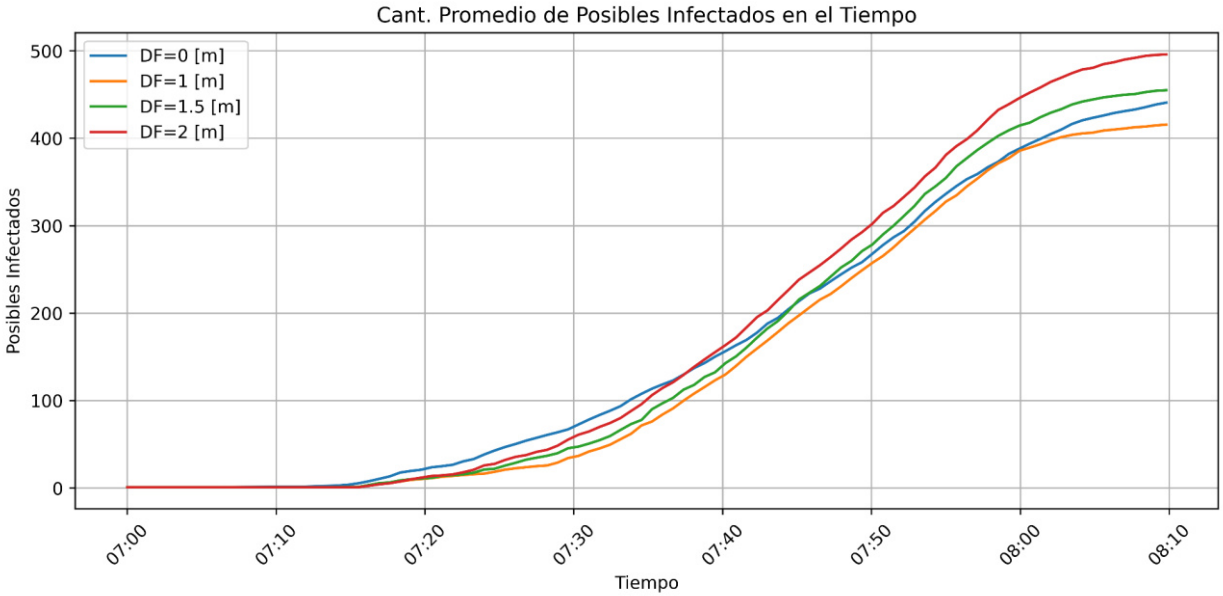


Figura 29: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo para distintos valores de Distanciamiento Físico, para la totalidad de estudiantes, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

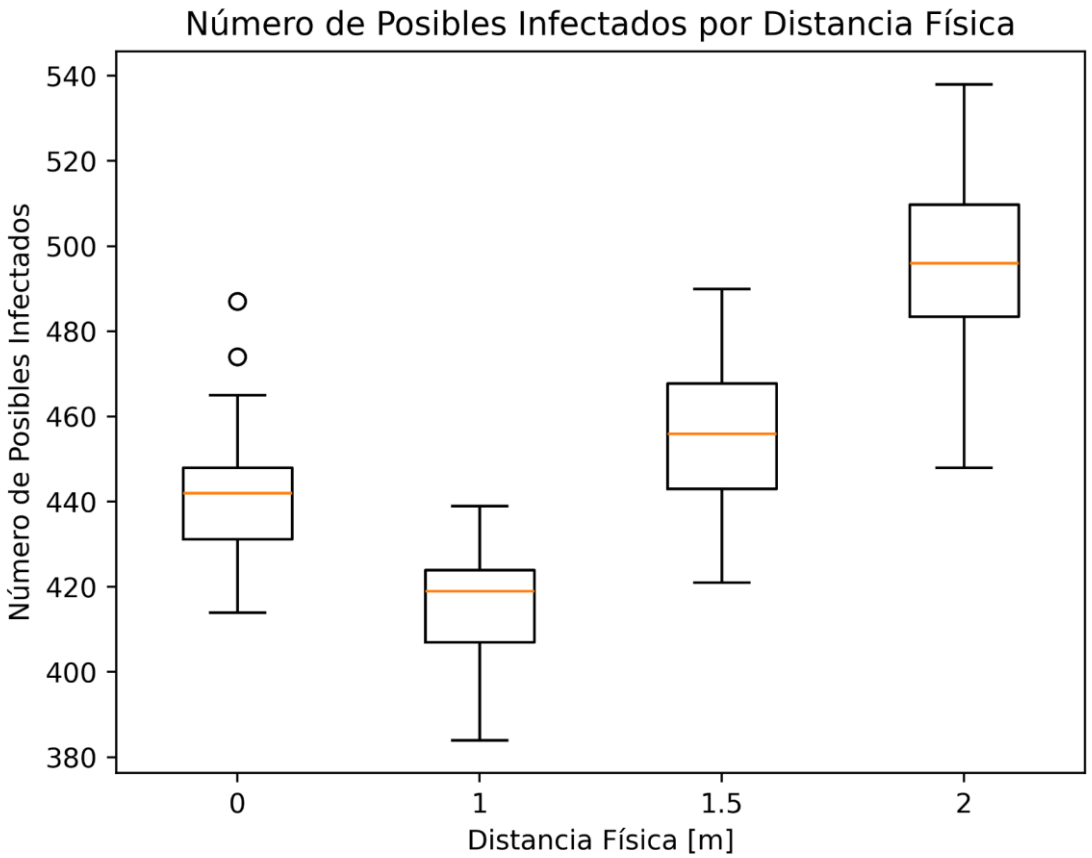


Figura 30: Diagrama de caja de la Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con distintos valores de Distanciamiento Físico, para la totalidad de estudiantes, con porterías España y Placeres habilitadas. (Elaboración propia).

Totalidad de Estudiantes, con solo portería Placeres habilitada:

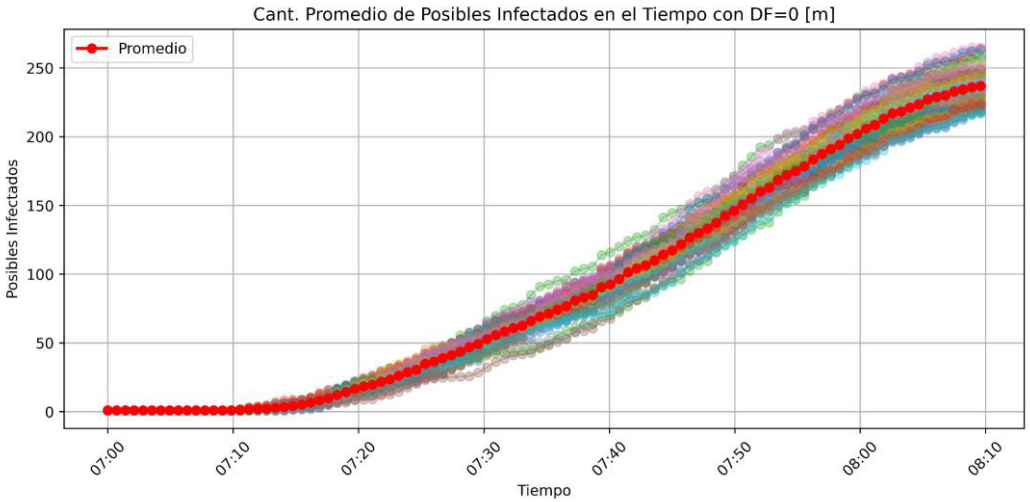


Figura 31: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 0 [m], para la totalidad de estudiantes, con solo portería Placeres habilita. (Elaboración propia).

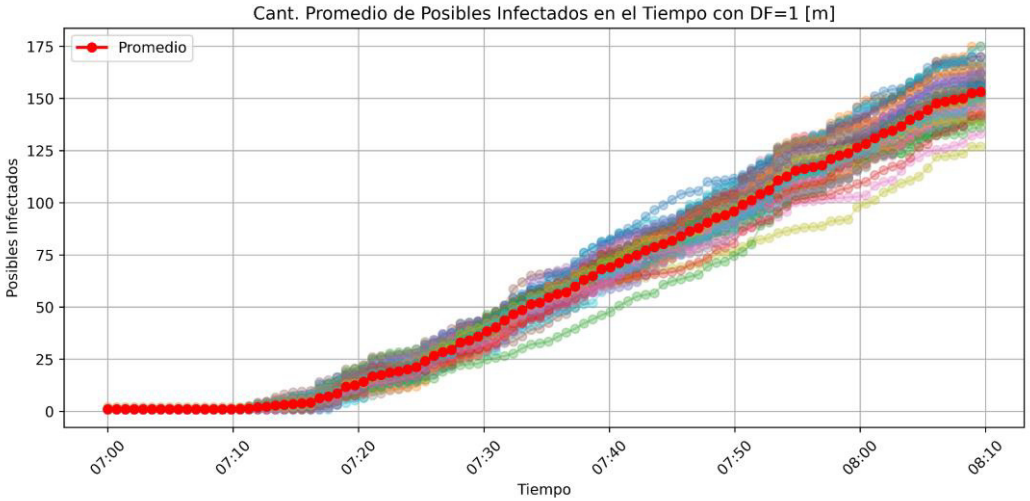


Figura 32: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1 [m], para la totalidad de estudiantes, con solo portería Placeres habilita. (Elaboración propia).

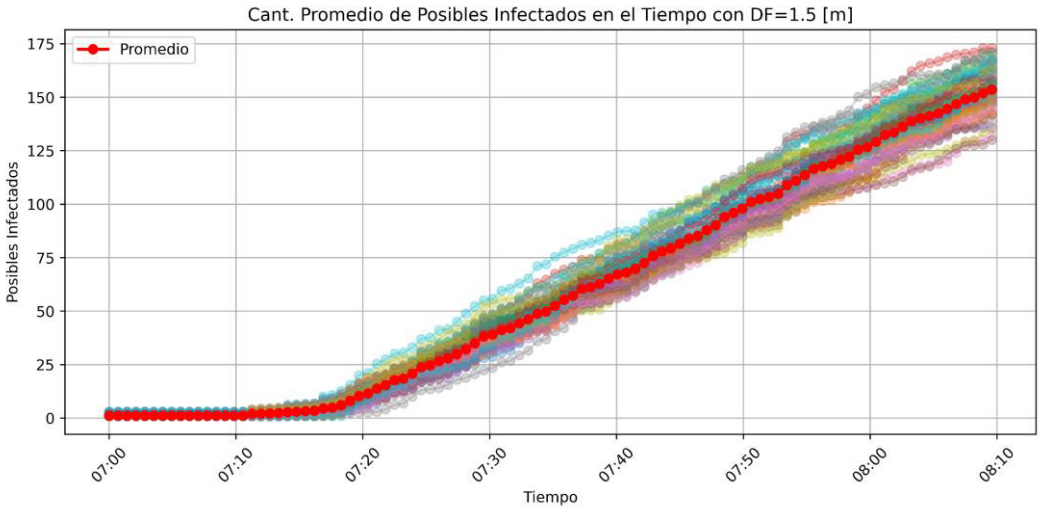


Figura 33: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 1.5 [m], para la totalidad de estudiantes, con solo portería Placeres habilita. (Elaboración propia).

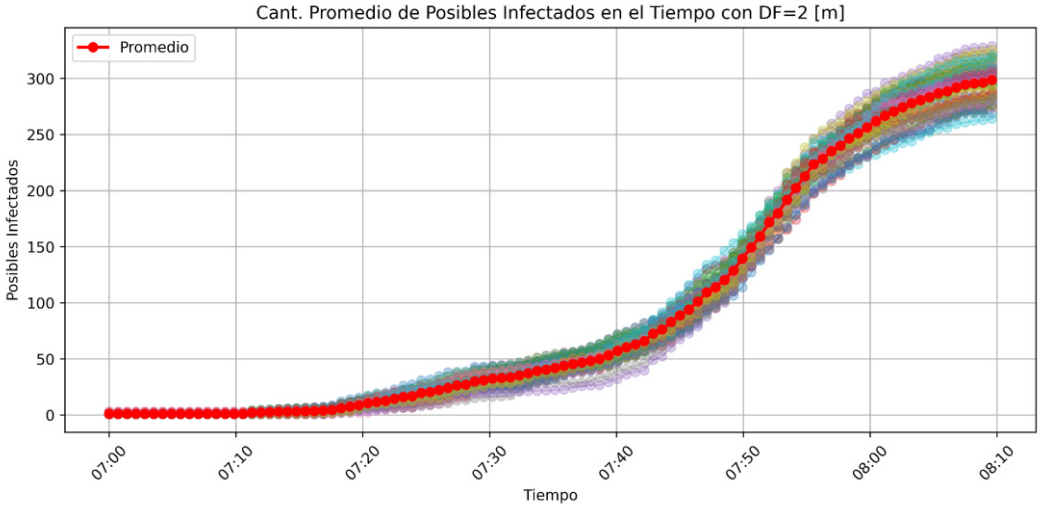


Figura 34: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con Distanciamiento Físico de 2 [m], para la totalidad de estudiantes, con solo portería Placeres habilita. (Elaboración propia).

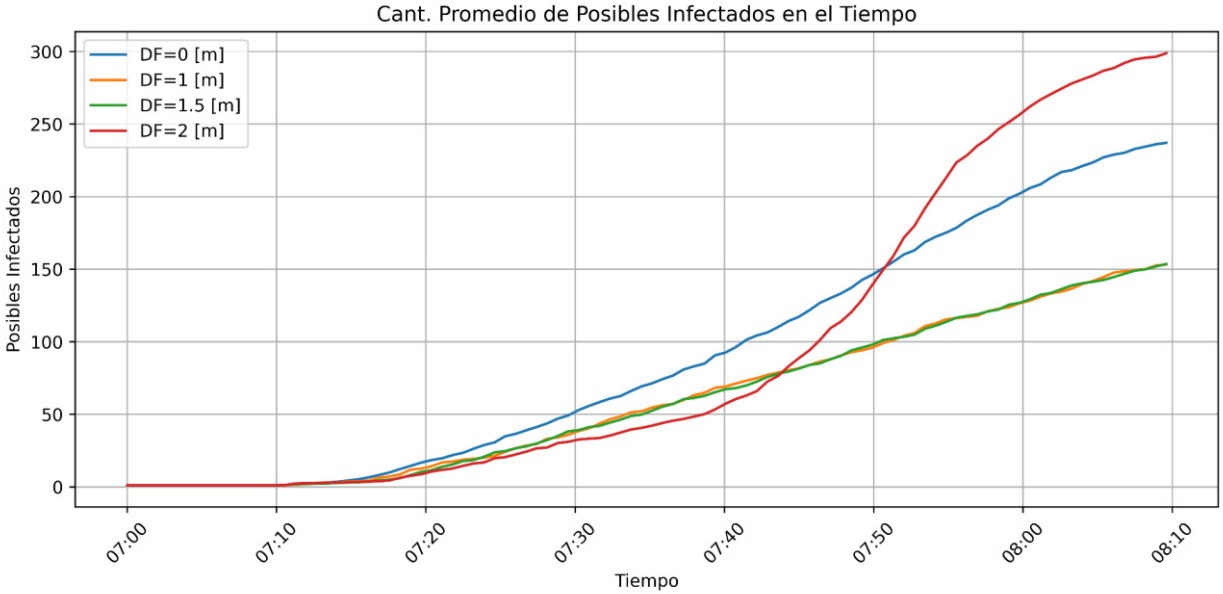


Figura 35: Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo para distintos valores de Distanciamiento Físico, para la totalidad de estudiantes, con solo portería Placeres habilita. (Elaboración propia).

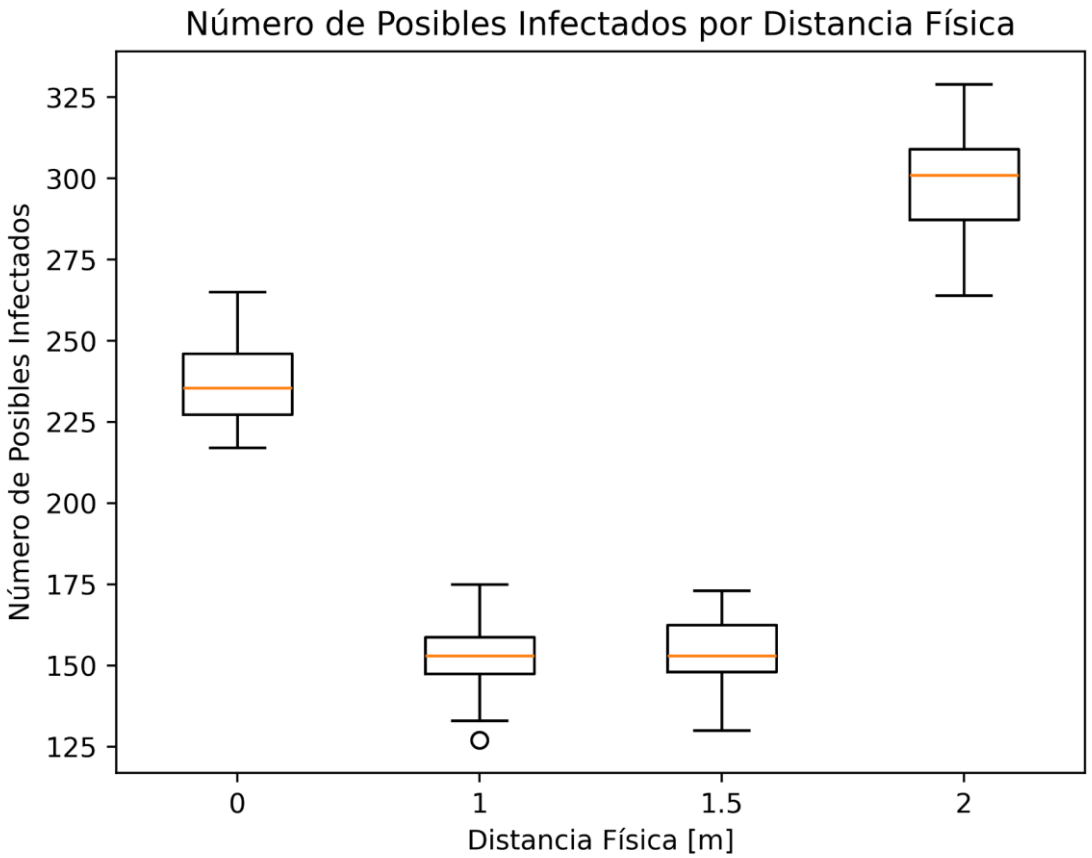


Figura 36: Diagrama de caja de la Cantidad de Posibles Infectados en el tiempo con distintos valores de Distanciamiento Físico, para la totalidad de estudiantes, con solo portería Placeres habilitada. (Elaboración propia).

De todos los valores recién mostrados, se muestran sus valores máximos en la tabla de la **Figura 37.**

Máxima cantidad de Posibles Infectados					
Estudiantes	Porterías	DF= 0 [m]	DF = 1 [m]	DF = 1.5 [m]	DF= 2 [M]
Valparaíso	Todas	102	80	78	76
	España-Placeres	169	106	114	108
	Solo Placeres	129	107	95	88
Todos	Todas	258	142	143	123
	España-Placeres	441	416	455	496
	Solo Placeres	237	153	154	299

Figura 37: Tabla de máxima cantidad de posibles infectados (Elaboración propia).

Al analizar la tabla de la **Figura 37**, observamos que la cantidad de posibles infectados entre los estudiantes de la región de Valparaíso se mantiene relativamente constante para cualquier valor de Distancia Física (DF) distinto de 0 [m]. Lo anterior, se debe a que, al haber pocos estudiantes, independientemente de la cantidad de entradas, pueden llegar a sus salas evitando casi siempre generar grandes atochamientos de personas en los puntos críticos o Hotspot, evitando así posibles contagios.

Por otro lado, cuando consideramos la totalidad de los estudiantes, notamos que la situación cambia considerablemente. En este escenario, mantener todas las porterías abiertas ocasiona la menor cantidad de posibles contagios. Esto se debe a que una mayor cantidad de entradas permite una mejor distribución del flujo de estudiantes, reduciendo la formación de aglomeraciones en los puntos críticos. En contraste, el peor escenario se presenta cuando solo están abiertas las porterías España y Placeres. La confluencia de estudiantes ingresando de manera diferida desde dos puntos distintos genera la formación de dos atochamientos separados que eventualmente se unen en los "Hotspots", incrementando así las posibilidades de contagio.

Además, se observa un comportamiento particular cuando solo la portería Placeres está habilitada. En este caso, con un distanciamiento físico mayor (2 [m]), la cantidad de posibles contagios aumenta. Esto se debe a que los estudiantes, al intentar mantener una mayor distancia en espacios reducidos, se ven obligados a moverse más lentamente, lo que genera mayores atochamientos. En estos casos, el intento de mantener la distancia física termina siendo contraproducente, ya que la lentitud del flujo y la inevitabilidad de pasar por puntos estrechos contribuyen a la formación de aglomeraciones, aumentando el riesgo de contagio.

MODELO BASADO EN AGENTE CON RESTRICCIONES DE DISTANCIAMIENTO FÍSCO
Para evaluación de protocolos de ocupación del campus UTFSM en contexto de pandemia COVID-19

INTRODUCCIÓN

En el campo de la Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operación (AECO, por sus siglas en inglés), las simulaciones de multitudes han surgido progresivamente como un enfoque que puede resolver interrogantes de este tipo, pues con estas es posible diseñar, predecir y evaluar el uso de espacios interiores, generalmente para tipologías de edificios que implican una extensa navegación y movimiento peatonal (es decir, estaciones, centros comerciales, aeropuertos). Al mismo tiempo, algunas aplicaciones de simulación de multitudes se han centrado en instalaciones educativas, sin embargo, son pocas, integrando a menudo la simulación de multitudes con simulaciones basadas en juegos.

La aplicación de simulaciones de multitudes en estrategias de control de pandemias era un tópico bastante inexplorado previo al COVID-19. Estudios anteriores tenían enfoques distintos y poco aplicables en situaciones como la de una pandemia. En estudios más recientes, se incluyeron aspectos más controlables que son relevantes para las epidemias y la evaluación de riesgos relacionados, como el distanciamiento social y el tiempo de exposición.

En este trabajo se propone emplear una simulación utilizando un Modelo Basado en Agentes en la Universidad Técnica Federico Santa María, Campus Casa Central Valparaíso, para simular las interacciones humanas dentro de un entorno modelado. Esta simulación busca no solo identificar y analizar posibles hotspots de contagio, sino también ofrecer conclusiones basadas en datos reales que permitan optimizar programas y espacios para su uso cotidiano. Además, se hará una evaluación crítica de los protocolos y normativas implementados por la universidad para determinar su eficacia y pertinencia en garantizar un entorno seguro durante la pandemia. Este análisis permitirá entender mejor las decisiones tomadas y así sugerir mejoras en la gestión de crisis sanitarias en contextos educativos.

COVID - 19: CONTEXTO GLOBAL

Pandemia COVID-19
La pandemia de COVID-19, causada por el virus SARS-CoV-2, originado en la ciudad china Wuhan a fines de diciembre de 2019, generó una crisis sanitaria global sin precedentes. Esta situación afectó a millones, provocando cierres de fronteras, la implementación de cuarentenas y un cambio radical en la vida cotidiana. Las medidas para prevenir el virus, tales como el distanciamiento social y la utilización de mascarillas, variaron en función de la situación epidemiológica de cada región.

Contagiosidad y Asintomáticos
A pesar de que la mayoría de las personas infectadas presentan síntomas leves y se recuperan sin tratamiento especial, el virus ha demostrado ser excepcionalmente contagioso, superando a otros virus respiratorios conocidos. Un aspecto particularmente problemático ha sido la presencia de portadores asintomáticos, quienes juegan un papel crucial en la rápida expansión del virus debido a su capacidad de transmitir el virus sin mostrar síntomas evidentes.

COVID-19: CONTEXTO CHILENO

Plan Paso a Paso
En Chile, el gobierno implementó el Plan Paso a Paso para enfrentar la pandemia, adaptando las restricciones según la situación sanitaria de cada zona. Este plan gradual desde la cuarentena hasta la apertura avanzada está guiado por indicadores epidemiológicos, capacidad asistencial y trazabilidad, buscando equilibrar la reactivación de actividades con la protección de la salud pública. Esta estrategia modular permitió flexibilizar o endurecer las medidas en respuesta a la evolución de la pandemia, adecuándose a las necesidades y particularidades de cada región del país, lo que implicaba una gestión dinámica y en constante evaluación de los riesgos asociados.

IMPACTO DE COVID-19 EN EL AMBITO EDUCATIVO

Cierre masivo
En respuesta a la pandemia, las instituciones educativas en todo el mundo suspendieron sus actividades presenciales, afectando a millones de estudiantes. Esta transición forzada hacia el aprendizaje a distancia representó un reto significativo para estudiantes, educadores y familias, alterando los métodos tradicionales de enseñanza.

En Chile, después del estallido social del 18 de octubre de 2019, muchas instituciones de educación habían adoptado sistemas de educación en línea. Por lo expuesto, y después del aviso de suspensión de clases y de adopción de una modalidad de educación en línea del Ministerio de Salud de Chile, la mayoría de las universidades y establecimientos de educación superior se sumaron a esta recomendación y trasladaron todas las actividades educacionales a un modelo de enseñanza virtual, utilizando software institucional existente u otras plataformas digitales disponibles.

Según estudios de la Unesco, no estábamos preparados para un escenario educativo en línea en Latinoamérica y nos enfrentamos a múltiples obstáculos tecnológicos, pedagógicos y financieros.

Efectos de suspensión de clases
La interrupción de la educación presencial exacerbó las desigualdades existentes, especialmente entre estudiantes de entornos socioeconómicos bajos. Estos estudiantes enfrentaron grandes dificultades debido a la falta de acceso a tecnología y conectividad a internet, comprometiendo su capacidad de continuar con su educación de manera efectiva. Esta brecha digital resaltó las disparidades preexistentes en el acceso a recursos educativos, lo que planteó desafíos adicionales para la implementación efectiva de la educación a distancia.

Protocolos de Retorno a Clases

El retorno a las clases presenciales ha exigido la implementación de protocolos sanitarios rigurosos y detallados para resguardar la seguridad tanto de los estudiantes como del personal educativo. Estas medidas comprenden una variedad de estrategias esenciales, como el mantenimiento restricto del distanciamiento físico, el uso obligatorio y continuo de mascarillas, la desinfección regular y exhaustiva de todas las instalaciones, así como la creación y aplicación de planes de acción específicos para gestionar de manera eficiente y rápida cualquier caso de COVID-19 que pudiera surgir. No obstante, a pesar de la meticulosa implementación de estos protocolos, nunca se puede garantizar una protección completa y absoluta contra el virus. Esta falta de garantía se debe a varios factores, entre ellos, la posibilidad de que la adhesión a las medidas no sea consistente, la variabilidad en la eficacia de las estrategias implementadas y otros factores complejos como las mutaciones del virus, las características específicas de cada entorno espacial, y la naturaleza espontánea y dinámica del comportamiento de los ocupantes de estos espacios. Especialmente relevante es el hecho de que los procesos emergentes de la interacción de todos estos elementos no son simples cualidades atribuibles a las partes individuales, sino que surgen de manera compleja y a menudo impredecible.

Además, la complejidad inherente a la aplicación de estas medidas en un entorno tan dinámico y diverso como el de un complejo universitario plantea retos adicionales significativos. Entre estos desafíos se incluyen la necesidad de una capacitación adecuada y constante del personal encargado, así como la comunicación efectiva y clara con los estudiantes para asegurar que las directrices sanitarias sean comprendidas y seguidas rigurosamente. Esta tarea requiere un esfuerzo coordinado y continuo para mantener un ambiente seguro, destacando la importancia de la cooperación y el compromiso de toda la comunidad educativa.

CONTEXTO MUNDIAL

2019

31 DIC — PRIMEROS CASOS

Comité de Salud Municipal de Wuhan informa a la OMS que 27 personas fueron diagnosticadas con neumonía de causa desconocida, y 7 personas en estado crítico.

2020

01 ENE — CASO EN WUHAN, CHINA

El mercado de Wuhan fue cerrado. Se descartó que el causante de los casos de neumonía fuera el SARS, el MERS, gripe, gripe aviar u otras enfermedades respiratorias comunes causadas por virus.

09 ENE — SE ANUNCIA SEPA DEL VIRUS

La OMS informa de que las autoridades chinas han determinado que el brote fue provocado por un nuevo coronavirus.

13 ENE — PROTOCOLO PRUEBA

La OMS publica el primer protocolo de la prueba de la reacción en cadena de la polimerasa con retrotranscripción (PCR-RT) por un laboratorio asociado de la Organización para diagnosticar el nuevo coronavirus.

13 ENE — CASO EN TAILANDIA

El ministro de Salud Pública de Tailandia notifica un caso del nuevo coronavirus confirmado en laboratorio importado desde Wuhan, el primer caso registrado fuera de la República Popular China.

14 ENE — SE DECLARA EMERGENCIA SANITARIA

La OMS declara emergencia sanitaria de preocupación internacional, basándose en el impacto que el virus podría tener en países subdesarrollados con menos infraestructuras sanitarias.

11 FEB — SE NOMBRA LA ENFERMEDAD

La OMS anuncia que la enfermedad causada por el nuevo coronavirus se denominará COVID-19.

11 MAR — SE DENOMINA PANDEMIA

La enfermedad se registra en más de 100 territorios a Nivel Mundial. Se reconoce como Pandemia.

> "Usar la frase distanciamiento físico en lugar de distanciamiento social (...) mantener la distancia física de las personas para que podamos prevenir la transmisión del virus entre nosotros; eso es absolutamente esencial. Pero eso no significa que socialmente tengamos que desconectarnos de nuestros seres queridos, de nuestra familia. La tecnología ha avanzado tanto actualmente que podemos mantenernos conectados de muchas maneras sin necesariamente estar físicamente en la misma sala o en el mismo espacio con las personas (...). Estamos cambiando a decir distanciamiento físico y eso es a propósito porque queremos que la gente siga estando conectada." (Van Kerkhove, M., Rueda de prensa diaria de la OMS sobre el COVID-19, 20 de marzo del 2020)

¿Fueron pertinentes los protocolos aplicados para que el retorno de estudiantes en la Universidad Técnica Federico Santa María, Campus Casa Central Valparaíso, fuese seguro?

Objetivo General
Modelar, simular y analizar el retorno a clases bajo diferentes criterios de interacción entorno-agente (estudiantes), escogiendo estudiantes por su mayor volumen de ocupación, para evaluar distintos escenarios, medidas de seguridad y protocolos de salud en la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), en el Campus Casa Central Valparaíso.

Objetivos específico 1
Identificar Hotspots de Contagio mediante un Modelo Basado en Agentes (MBA) para espacios de tránsito habitados por estudiantes en el campus CCCV.

Objetivos específico 2
Identificar Hotspots de Contagio mediante un Modelo Basado en Agentes (MBA) para espacios de tránsito habitados por estudiantes en el campus CCCV.

Objetivos específico 3
Analizar e identificar las virtudes y falencias de las medidas de distanciamiento físico, y protocolos de ingreso simulados en la investigación, para proporcionar recomendaciones basadas en datos para la toma de decisiones, enfocado a los hotspots de contagio.

MODELOS BASADOS EN AGENTES (MBA)

Los modelos basados en agentes (MBA) son un tipo específico de sistema multi-agente donde cada tipo de individuo tiene un submodelo autónomo asociado que describe su respuesta a otros individuos y/o estímulos ambientales.

Cada agente toma decisiones basadas en un conjunto de reglas predefinidas, interactuando tanto con otros agentes como con el entorno, lo que permite modelar fenómenos emergentes que no son fácilmente deducibles a partir del comportamiento individual de los componentes.

Componentes de un Modelo Basado en Agentes
La mayoría de los modelos basados en agentes están compuestos por: numerosos agentes, heurísticas de toma de decisiones, reglas de aprendizaje o procesos adaptativos, una topología de interacción, y un entorno. Los modelos basados en agentes generalmente se implementan como simulaciones computacionales, ya sea como software personalizado o a través de kits de herramientas MBA, y este software puede entonces utilizarse para probar cómo los cambios en los comportamientos individuales afectarán el comportamiento global emergente del sistema. Se dará una breve descripción de estos componentes.

METODOLOGÍA

Con respecto al modelo
El modelo de John Fruin es fundamental en el estudio y la simulación del movimiento peatonal, especialmente en entornos congestionados como estaciones de transporte, eventos masivos y espacios públicos. Fruin introdujo conceptos como los "niveles de servicio" (Fruin LOS por sus siglas en inglés) que describen la calidad del flujo peatonal basada en la densidad de peatones por unidad de área. Este modelo es crítico para entender cómo los peatones interactúan con su entorno y entre sí.

Principios del Modelo de Fruin

Densidad Peatonal: Fruin identificó diferentes niveles de densidad peatonal y cómo estos impactan la velocidad de movimiento y la comodidad.

Niveles de Servicio: Estos niveles varían desde 'A' (flujo libre) hasta 'F' (Atasco), ofreciendo una escala para medir la eficiencia de un espacio dado.

Comportamiento de los Peatones: El modelo toma en cuenta comportamientos específicos como la evitación de colisiones, la selección de rutas y la respuesta a obstáculos físicos.

NIVEL DE SERVICIO - FRUIN

Descripción	Flujo Libre: Capacidad de moverse en una ruta deseada, sin necesidad de alterar movimientos	Espacio Menos Libre: Necesidad ocasional de ajustar la ruta para evitar conflictos	Estable: Necesidad frecuente de ajustar la ruta para evitar conflictos	Condicionado: Velocidad restringida y capacidad limitada para adelantar peatones más lentos	Forzado: Velocidad restringida y capacidad muy limitada para adelantar peatones más lentos	Atasco: Velocidad muy restringida, contacto frecuente con otros usuarios
Medición Cualitativa	**LOS A**	**LOS B**	**LOS C**	**LOS D**	**LOS E**	**LOS F**
Espacio por Persona (m²/peatón)	>= 3.24	3.24–2.32	2.32–1.39	1.39–0.93	0.93–0.46	< 0.46F
Densidad de Multitud (peatones/m²)	<= 0.27	0.31–0.43	0.43–0.72	0.72–1.08	1.08–2.17	> 2.17
Tasa de Flujo (peatones/min/m)	<= 23	23–33	33–49	49–66	66–82	Variable

CASO DE ESUDIO: ESCENARIO

Semestre 2019-2
El estallido social del 18 de octubre de 2019 en Chile provocó la suspensión de las clases por un tiempo considerable. Las actividades académicas se mantuvieron paralizadas hasta el 29 de noviembre de 2019, cuando la Vicerrectoría Académica emitió un comunicado proponiendo un plan de acción para retomar el semestre 2019-2.

Plan de Acción y Fases del Semestre
El comunicado de la Vicerrectoría dividió el semestre en dos fases:

Fase I: Desde el miércoles 4 de diciembre de 2019 hasta el viernes 28 de febrero de 2020.

Fase II: Desde el lunes 2 de marzo de 2020 hasta el viernes 27 de marzo de 2020.

Durante la Fase II, el COVID-19 ya había ingresado al país, lo que añadió una capa adicional de complejidad a la reanudación de las clases. Por esta razón, se escoge el 2° semestre de 2019 como el período de estudio, ya que coincide con la aparición del virus y el impacto subsecuente en las actividades académicas.

Clases de las 8 AM del día lunes
Se elige evaluar las clases que comienzan a las 8 AM los lunes, ya que representa el inicio de la jornada universitaria. Este horario permite observar el estado inicial de la universidad sin la presencia previa de personas, lo que minimiza la proliferación viral y simplifica el análisis al evitar otras variables como topes de horario y estudiantes en bloques libres, que añadirían complejidad.

Agentes a Simular
El enfoque se centrará exclusivamente en los estudiantes, siendo la masa significativa a analizar. Se consideran dos casos de estudio:

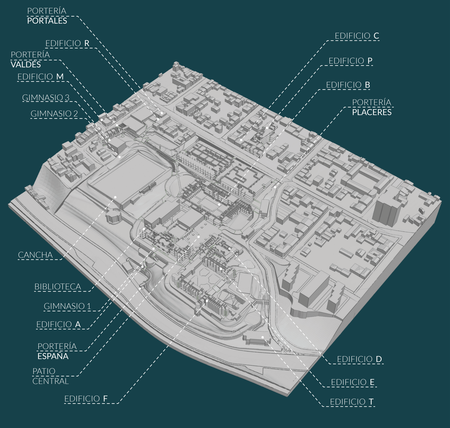
Estudiantes solo de la V región
Se asume que solo los estudiantes de la V región retornan a clases presenciales, debido a que la apertura avanzada en esta región no garantiza que las demás regiones estén en la misma fase del plan gubernamental "Paso a Paso".

Estudiantes de la V región y otras regiones
Se asume que todos los estudiantes del país retornan a clases presenciales, lo que incluye tanto a los de la V región como a los de otras regiones en apertura avanzada. Corresponde al 100% de la comunidad de estudiantes universitarios contemplados para el contexto de día lunes a las 8 am.

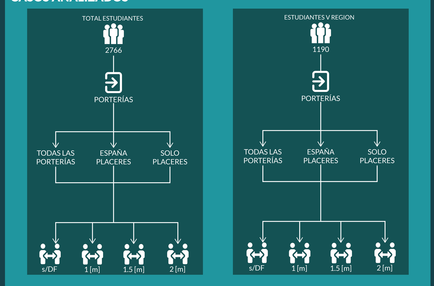
Cantidad máxima de Alumnos
Se presume que la cantidad máxima de alumnos se basa en el número de cupos por asignatura dictada a las 8 AM del lunes durante el semestre, considerando un escenario de peor caso donde todos los cupos están tomados y todos se presenten. Los datos de los cupos de asignatura se obtienen del portal de inscripción de ramos con un total de 2766 alumnos a las 8 am.

Aplicación del Porcentaje de Alumnos
El porcentaje de alumnos se utilizará para caracterizar al agente con un punto o edificio de interés. Esta caracterización permitirá una mejor comprensión y representación de cómo los estudiantes se distribuyen y se mueven dentro del campus universitario, tomando en cuenta que sus actividades y clases se desarrollan en diferentes edificios.

ENTORNO UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA



CASOS ANALIZADOS

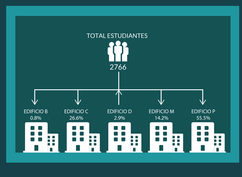


DISTRIBUCIÓN

Basándose en la información proporcionada por SIGA sobre las aulas asignadas para los cursos y secciones impartidos los lunes a las 8 de la mañana durante el segundo semestre de 2019 en el Campus Casa Central Valparaíso, se registraron un total de 2,766 cupos de salas.

Este número representa la capacidad máxima de estudiantes presentes a esa hora, considerando todos los cursos y secciones programados. Las clases se distribuyen en varios edificios del campus, específicamente en los edificios B, C, D, M y P.

La distribución detallada de los cupos de salas y la ubicación de los cursos en los diferentes edificios proporcionan una visión clara de la utilización de los espacios del campus en el horario especificado.



CONTEXTO CHILENO

2020

03 MAR — PRIMER CASO EN CHILE

El 3 de marzo del 2020 se confirmó el primer caso de un infectado por COVID-19 en Chile.

15 MAR — SUSPENCIÓN DE CLASES

Tras la confirmación de la Fase 3 del COVID, se procede a suspender las clases presenciales en los colegios y se determinó que debían adoptar una modalidad de educación en línea.

16 MAR — SUSPENCIÓN DE CLASES EN UTFSM

Se suspendieron las actividades académicas presenciales en las diversas instituciones de educación superior, la UTFSM entre ellas.

CONTEXTO UTFSM

2019

18 OCT — SUSPENCIÓN DE CLASES

El estallido social del 18 de octubre de 2019 provocó la suspensión de las clases por un tiempo considerable.

29 NOV — PLAN DE REANUDACIÓN DE SEMESTRE

La Vicerrectoría Académica emitió un comunicado proponiendo un plan de acción para retomar el semestre 2019-2, que lo dividió en dos fases.

04 DIC — PLAN FASE I

Inicia el miércoles 4 de diciembre de 2019 hasta el viernes 28 de febrero de 2020.

2020

02 MAR — PLAN FASE II

Inicia el lunes 2 de marzo de 2020 hasta el viernes 27 de marzo de 2020.



MODELO BASADO EN AGENTE CON RESTRICCIONES DE DISTANCIAMIENTO FÍSCO

Para evaluación de protocolos de ocupación del campus UTFSM en contexto de pandemia COVID-19

DESARROLLO Y RESULTADOS

Implementación

Ejecución del Modelo
Se realizaron 50 simulaciones por combinación, esto es, por cantidad de alumnos (porcentaje Valparaíso y porcentaje total) por distintas porterías habilitadas (Todas las porterías, Porterías España y Placeres, y solo Portería Placeres), por distinto valor de distanciamiento físico ([0m), 1m), 1.5[m), 2[m]). Es decir, se realizaron un total de 2400 simulaciones. De estas, y de su posterior manejo utilizando tanto las herramientas creadas para esta investigación, como otras herramientas, tenemos los siguientes:

Evaluando los valores obtenidos de densidad en los distintos pisos de la universidad, obtuvimos que los siguientes eran los lugares con mayor densidad:

Piso 2, Edificio P
Piso 1, Edificio P
Piso 0, Edificio P
Túnel, Edificio P
Piso 2, Edificio C

Los anteriores presentan las siguientes densidades máximas en cada uno de los casos evaluados, datos que se presentaran ahora, y se volverán a utilizar en el análisis más profundo por cada piso en cada caso, donde serán presentados dependiendo de la combinación de variables a analizar para cada caso.

Análisis General de Resultados
La tabla de contraste de densidad de población muestra los resultados de densidad por diferentes combinaciones de distanciamiento físico y porterías habilitadas. A continuación, se presenta un análisis general de los resultados observados:

Piso 2, Edificio P: Este piso mostró variaciones significativas en la densidad dependiendo del distanciamiento físico y las porterías habilitadas. Las densidades más altas se alcanzaron con distanciamientos físicos menores y con todas las porterías habilitadas.

TABLA DE CONTRASTE: DENSIDAD DE POBLACIÓN

POR CASO CONSTRUIDO

Hotspot	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Tunel Edif. P	0.1059	0.1322	0.1403	0.1403
Piso 2 Edif. P	0.0172	0.0153	0.0153	0.0191
Piso 1 Edif. P	0.0211	0.0211	0.0172	0.0191
Piso 0 Edif. P	0.0041	0.0056	0.0029	0.0026
Piso 2 Edif. C	0.0276	0.0269	0.0291	0.0335

Cantidad Máxima de densidad por Hotspot, para alumnos de la región de Valparaíso, con Todas las Porterías Peatonales habilitadas.

Hotspot	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Tunel Edif. P	0.1216	0.1309	0.1684	0.1403
Piso 2 Edif. P	0.0153	0.0211	0.0172	0.0191
Piso 1 Edif. P	0.0211	0.0211	0.0218	0.0226
Piso 0 Edif. P	0.0072	0.0091	0.0029	0.0026
Piso 2 Edif. C	0.0218	0.0211	0.024	0.0226

Cantidad Máxima de densidad por Hotspot, para alumnos de la región de Valparaíso, con Porterías España y Placeres habilitadas.

Hotspot	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Tunel Edif. P	0.1322	0.1322	0.1403	0.1497
Piso 2 Edif. P	0.0172	0.0191	0.0211	0.0191
Piso 1 Edif. P	0.0211	0.0211	0.0218	0.0226
Piso 0 Edif. P	0.1139	0.0911	0.094	0.1054
Piso 2 Edif. C	0.0211	0.0211	0.0218	0.0226

Cantidad Máxima de densidad por Hotspot, para alumnos de la región de Valparaíso, con Sólo Portería Placeres habilitada.

Hotspot	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Tunel Edif. P	0.1322	0.1151	0.29	0.318
Piso 2 Edif. P	0.0306	0.0383	0.0306	0.0306
Piso 1 Edif. P	0.0383	0.0383	0.0383	0.0383
Piso 0 Edif. P	0.1139	0.0911	0.094	0.151
Piso 2 Edif. C	0.0473	0.0568	0.0684	0.0684

Cantidad Máxima de densidad por Hotspot, para el total de alumnos, con Todas las Porterías Peatonales habilitadas.

Hotspot	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Tunel Edif. P	0.0345	0.0345	0.0329	0.0345
Piso 2 Edif. P	0.0325	0.0325	0.0325	0.0345
Piso 1 Edif. P	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345
Piso 0 Edif. P	0.1153	0.1153	0.1153	0.118
Piso 2 Edif. C	0.0429	0.0502	0.0458	0.0473

Cantidad Máxima de densidad por Hotspot, para el total de alumnos, con Porterías España y Placeres habilitadas.

Hotspot	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Tunel Edif. P	0.0543	0.0402	0.0329	0.4022
Piso 2 Edif. P	0.0364	0.0402	0.0364	0.0345
Piso 1 Edif. P	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345
Piso 0 Edif. P	0.1153	0.1153	0.1153	0.1477
Piso 2 Edif. C	0.0422	0.0415	0.0437	0.0407

Cantidad Máxima de densidad por Hotspot, para el total de alumnos, con Sólo Portería Placeres habilitada.

Piso 1, Edificio P: Similar al Piso 2, este piso también presentó altas densidades bajo condiciones de distanciamiento físico reducido y múltiples porterías habilitadas. La densidad máxima registrada fue de 0.0577 [m²] con un distanciamiento de 1 metro.

Piso 0, Edificio P: Las densidades en este piso fueron moderadas en comparación con otros pisos, alcanzando un máximo de 0.0313 [m²] en condiciones específicas.

Túnel, Edificio P: Este lugar presentó densidades notables, especialmente con distanciamiento físico de 0 y 1 metro, alcanzando una densidad máxima de 0.2513 [m²] cuando todas las porterías estaban habilitadas.

Piso 2, Edificio C: Aunque este piso mostró densidades más bajas en comparación con los pisos del Edificio P, sigue siendo relevante con una densidad máxima de 0.0347 [m²].

En general, los resultados indican que la densidad de población varía considerablemente dependiendo del distanciamiento físico y las porterías habilitadas. Las densidades más altas se observaron generalmente en el Edificio P, especialmente en los pisos inferiores y en el túnel.

Análisis Detallado por Hotspot

Para un análisis más exhaustivo, se presentan los resultados detallados de densidad de población por hotspot, para diferente cantidad de estudiantes y distintas porterías habilitadas.

Se consideraron distintas cantidades de estudiantes y la habilitación de diferentes porterías para observar cómo varía la densidad poblacional según el número de estudiantes presentes y las rutas de acceso habilitadas. De esta manera, se puede determinar la influencia de cada variable en la distribución de la población y así identificar las configuraciones más eficientes.

Además, al comparar las densidades en función de diferentes distanciamientos físicos y porterías habilitadas, se obtiene una comprensión más clara de las dinámicas de flujo de personas por hotspot para cada caso.

TABLA DE CONTRASTE: DENSIDAD DE POBLACIÓN

POR HOTSPOT

Densidad población en Hotspot: Piso 2, Edificio P					
Estudiantes	Porterías	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Valparaíso	Todas	0.0172	0.0153	0.0153	0.0191
	Placeres-España	0.0153	0.0211	0.0172	0.0191
	Placeres	0.0172	0.0191	0.0211	0.0191
Total	Todas	0.0211	0.0211	0.0172	0.0191
	Placeres-España	0.0325	0.0345	0.0325	0.0345
	Placeres	0.0258	0.0258	0.0258	0.0258

Densidad población en Hotspot: Piso 1, Edificio P					
Estudiantes	Porterías	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Valparaíso	Todas	0.0513	0.0444	0.053	0.0564
	Placeres-España	0.0461	0.0479	0.0564	0.0598
	Placeres	0.0444	0.0513	0.0564	0.0735
Total	Todas	0.1139	0.0911	0.1078	0.1054
	Placeres-España	0.0672	0.0837	0.1118	0.1139
	Placeres	0.0672	0.0837	0.1139	0.1139

Densidad población en Hotspot: Piso 0, Edificio P					
Estudiantes	Porterías	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Valparaíso	Todas	0.0741	0.0655	0.0798	0.0826
	Placeres-España	0.0997	0.0994	0.1025	0.0994
	Placeres	0.1139	0.0911	0.094	0.1054
Total	Todas	0.1153	0.1153	0.1153	0.118
	Placeres-España	0.1153	0.1153	0.1153	0.118
	Placeres	0.1153	0.1153	0.1153	0.1153

Densidad población en Hotspot: Tunel, Edificio P					
Estudiantes	Porterías	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Valparaíso	Todas	0.1029	0.1122	0.1403	0.1403
	Placeres-España	0.1216	0.1309	0.1684	0.1403
	Placeres	0.1122	0.1216	0.1403	0.1497
Total	Todas	0.1403	0.1403	0.1684	0.1403
	Placeres-España	0.1403	0.1403	0.1684	0.1684
	Placeres	0.1403	0.1403	0.1684	0.1684

Densidad población en Hotspot: Piso 2, Edificio C					
Estudiantes	Porterías	DF - 0 [m]	DF - 1 [m]	DF - 1.5 [m]	DF - 2 [m]
Valparaíso	Todas	0.0276	0.0269	0.0291	0.0335
	Placeres-España	0.0218	0.0211	0.024	0.0226
	Placeres	0.0211	0.0211	0.0218	0.0226
Total	Todas	0.0276	0.0269	0.0688	0.0768
	Placeres-España	0.0422	0.0415	0.0437	0.0407
	Placeres	0.0422	0.0415	0.0437	0.0407

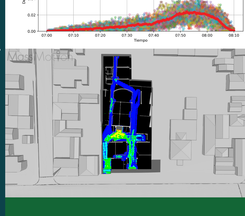
DENSIDAD DE POBLACIÓN EN EL TIEMPO Y MAPAS DE DENSIDAD MÁXIMA SEGÚN NIVEL DE SERVICIO DE FRUIN

CANTIDAD DE ESTUDIANTES VALPARAÍSO

MEJOR CONFIGURADO

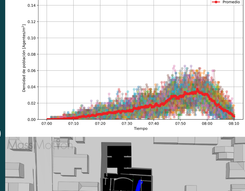
TODAS LAS PORTERÍAS





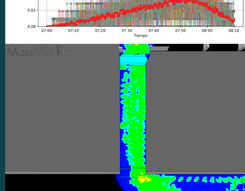
Mapa de Densidad Máxima según nivel de servicio de Fruin

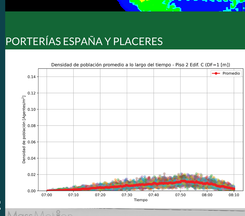
TODAS LAS PORTERÍAS





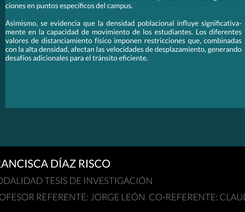
TODAS LAS PORTERÍAS





TODAS LAS PORTERÍAS

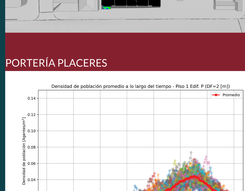


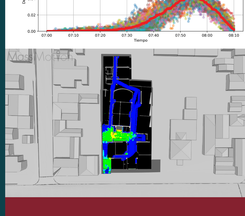


PORTERÍAS ESPAÑA Y PLACERES

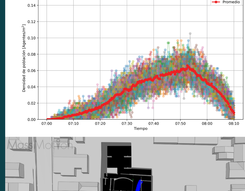
PEOR CONFIGURADO

PORTERÍAS ESPAÑA Y PLACERES



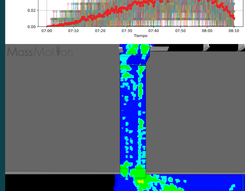


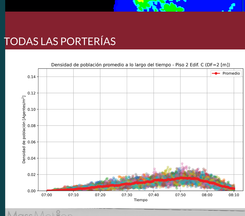
PORTERÍA PLACERES





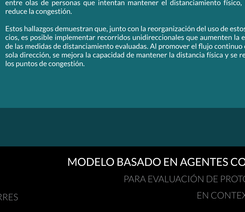
PORTERÍA PLACERES





PORTERÍAS ESPAÑA Y PLACERES





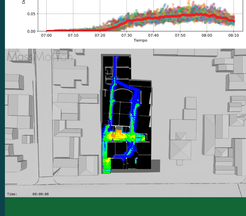
TODAS LAS PORTERÍAS

CANTIDAD DE ESTUDIANTES TOTAL

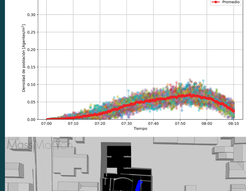
MEJOR CONFIGURADO

TODAS LAS PORTERÍAS



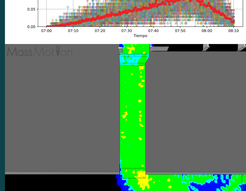


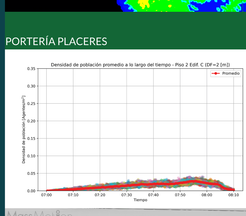
PORTERÍAS ESPAÑA Y PLACERES



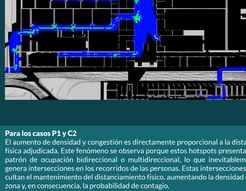


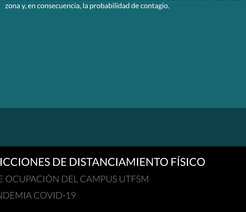
TODAS LAS PORTERÍAS





TODAS LAS PORTERÍAS

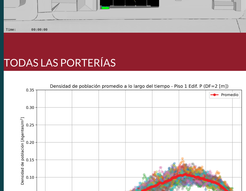


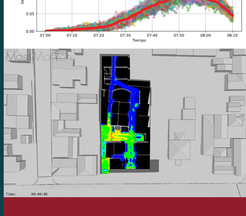


PORTERÍA PLACERES

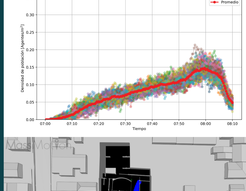
PEOR CONFIGURADO

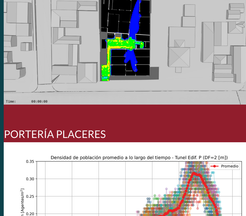
PORTERÍA PLACERES



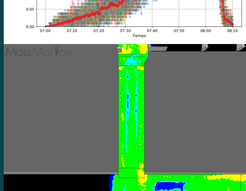


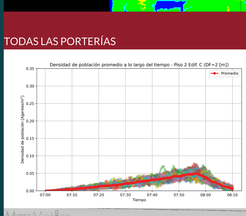
PORTERÍA PLACERES





PORTERÍA PLACERES





PORTERÍA PLACERES





TODAS LAS PORTERÍAS

P2

P1

P0

Tn

C2

CONCLUSIONES

En términos generales, las simulaciones que presentan menos congestión corresponden a las que constan con todas las porterías peatonales abiertas. Esto se debe a que la mayor cantidad de accesos permite una distribución más uniforme de los estudiantes, reduciendo la probabilidad de aglomeraciones en puntos específicos del campus.

Asimismo, se evidencia que la densidad poblacional influye significativamente en la capacidad de movimiento de los estudiantes. Los diferentes valores de distanciamiento físico imponen restricciones que, combinadas con la alta densidad, afectan las velocidades de desplazamiento, generando desafíos adicionales para el tránsito eficiente.

Para los casos P2, P0 y P Túnel
El aumento de densidad y congestión es inversamente proporcional a la distancia física adjudicada. La característica común de estos hotspots es que tienen una tendencia a ser unidireccionales, lo que significa que los flujos de personas se mueven principalmente en una sola dirección. Esta disposición minimiza los encuentros entre olas de personas que intentan mantener el distanciamiento físico, lo que reduce la congestión.

Estos hallazgos demuestran que, junto con la reorganización del uso de estos espacios, es posible implementar recorridos unidireccionales que aumenten la eficacia de las medidas de distanciamiento evaluadas. Al promover el flujo continuo en una sola dirección, se mejora la capacidad de mantener la distancia física y se reducen los puntos de congestión.

Para los casos P1 y C2
El aumento de densidad y congestión es directamente proporcional a la distancia física adjudicada. Este fenómeno se observa porque estos hotspots presentan un patrón de ocupación bidireccional o multidireccional, lo que inevitablemente genera intersecciones en los recorridos de las personas. Estas intersecciones dificultan el mantenimiento del distanciamiento físico, aumentando la densidad en la zona y, en consecuencia, la probabilidad de contagio.

De los análisis anteriores, se puede inferir que las medidas de distanciamiento adoptadas por la universidad fueron adecuadas.

Asimismo, notamos que la reducción de la cantidad de clases presenciales, limitando inicialmente el uso de laboratorios y salas de computación, también es una medida eficaz para reducir los contactos estrechos. No obstante, si estas medidas se prolongan sin condiciones apropiadas de distanciamiento y ventilación, estas salas podrían convertirse en fuentes de contagio estable.

En resumen, los resultados de esta investigación subrayan la importancia de una planificación cuidadosa y una gestión flexible del uso del espacio en la universidad. Estrategias que combinan una mayor apertura de porterías peatonales, la implementación de recorridos unidireccionales y la reducción del número de clases presenciales pueden contribuir significativamente a reducir la densidad poblacional y mejorar la seguridad sanitaria en la universidad.

FRANCISCA DÍAZ RISCO
MODALIDAD TESIS DE INVESTIGACIÓN
PROFESOR REFERENTE: JORGE LEÓN CO-REFERENTE: CLAUDIO TORRES

MODELO BASADO EN AGENTES CON RESTRICCIONES DE DISTANCIAMIENTO FÍSICO
PARA EVALUACIÓN DE PROTOCOLOS DE OCUPACIÓN DEL CAMPUS UTFSM
EN CONTEXTO DE PANDEMIA COVID-19

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
ARQUITECTURA UTFSM