



Serie Proyectos de Investigación e Innovación

Superintendencia de Seguridad Social
Santiago - Chile

INFORME FINAL

“DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE INFECCIÓN RELATIVO A SARS-CoV-2 EN RECINTOS DE TRABAJO – ESTUDIO DE MODELAMIENTO”

Constanza Molina
2022





SUPERINTENDENCIA DE SEGURIDAD SOCIAL

SUPERINTENDENCE OF SOCIAL SECURITY

La serie Proyectos de Investigación e Innovación corresponde a una línea de publicaciones de la Superintendencia de Seguridad Social, que tiene por objetivo divulgar los trabajos de investigación e innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades del Trabajo financiados por los recursos del Seguro Social de la Ley 16.744.

Los trabajos aquí publicados son los informes finales y están disponibles para su conocimiento y uso. Los contenidos, análisis y conclusiones expresados son de exclusiva responsabilidad de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente la opinión de la Superintendencia de Seguridad Social.

Si requiere de mayor información, sobre el estudio o proyecto escriba a: investigaciones@suseso.cl.

Si desea conocer otras publicaciones, artículos de investigación y proyectos de la Superintendencia de Seguridad Social, visite nuestro sitio web: www.suseso.cl.

The Research and Innovation Projects series corresponds to a line of publications of the Superintendence of Social Security, which aims to disseminate the research and innovation work in the Prevention of Occupational Accidents and Illnesses financed by the resources of Law Insurance 16,744.

The papers published here are the final reports and are available for your knowledge and use. The content, analysis and conclusions are solely the responsibility of the author (s), and do not necessarily reflect the opinion of the Superintendence of Social Security.

For further information, please write to: investigaciones@suseso.cl.

For other publications, research papers and projects of the Superintendence of Social Security, please visit our website: www.suseso.cl.

Superintendencia de Seguridad Social
Huérfanos 1376
Santiago, Chile.

**PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN PREVENCIÓN DE ACCIDENTES
DEL TRABAJO Y ENFERMEDADES AÑO 2020**

INFORME FINAL

Título del Proyecto:

**“DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE INFECCIÓN RELATIVO A
SARS-CoV-2 EN RECINTOS DE TRABAJO –
ESTUDIO DE MODELAMIENTO”**

Nombre Director del Proyecto: Constanza Molina C.

Nombre Director Alterno del proyecto: Benjamin Jones

Nombre Co-Investigador: Sandra Cortés Arancibia

Asistente de investigación: Ariel Bejar Navarrete

Administrador del contrato: Instituto de Seguridad Laboral

Fecha de emisión: 15/11/2021

Periodo correspondiente a este informe:

Entre el 01/12/2020 y el 15/11/2021

INFORME FINAL

El presente documento tiene por objetivo informar las actividades cumplidas en el proyecto, e indicar los resultados logrados. Además, se presentan los cambios en el estado del arte y en el entorno respecto a la problemática, analizando cómo esto impactó en el desarrollo del proyecto. Finalmente, se sugieren propuestas de mejora a la contraparte que pudiesen optimizar o potenciar los resultados de lo propuesto.

Esta entrega final se compone de cuatro partes:

I.- Informe Final del proyecto:

En el informe se presenta una síntesis del proyecto y se determina si existieron cambios en el estado del arte respecto a modelos de estimación de riesgo de contagio de COVID-19.

II.- Anexos:

Corresponde a información que sustenta o amplía la información entregada en este Informe Final. En estos se incluyen, documentos que dan cuenta de su desarrollo, y resultados completos de las simulaciones.

III. Herramienta de cálculo y Manual para el usuario

IV. Manuscrito publicación científica

Manuscrito entregado para publicación, orientado a la comunidad científica chilena.

INFORME FINAL

Contenido

I) INFORME FINAL DEL PROYECTO	5
1. Presentación del proyecto	5
1.1. Problemática.....	5
1.2. Modelamiento del virus SARS-CoV-2 propuesto y resultados preliminares.....	6
1.3. Escenarios de exposición.....	7
1.4. Literatura y estado del arte	8
2. Resumen del método y resultados	10
2.1. Objetivos	11
2.1.1. General.....	11
2.1.2. Objetivos Específicos	11
3. Resultados del proyecto.....	11
Resultado 1: Estudio comparativo	11
3.2. Descripción de actividades	11
3.2.1. Definir listado de recintos de trabajo a estudiar	11
3.2.2. Recopilación de bases de datos y revisión de normativas técnicas.....	12
3.2.3. Definición de actividades laborales y tipo de trabajadores a incluir..	13
3.2.4. Revisión de la literatura y bases de datos nacionales de parámetros biológicos de la población.....	14
3.2.5. Descripción de las propiedades físicas y arquitectónicas de los recintos (HITO 2).....	15
3.2.6. Definición de variables del ocupante (distribuciones) a incluir en el modelamiento	16
3.2.7. Revisión de la literatura científica – variables de interés relacionadas al virus SARS-CoV-2	17
3.2.8. Ejecución de las simulaciones de Monte Carlo con los datos de entradas para estimar las exposiciones al virus en los recintos	17
3.2.9. Resultados del análisis comparativo.....	20
3.2.10. Recomendaciones de buenas prácticas	24

Resultado 2: Herramienta analítica.....	25
Resultado 3: Transferencia de Resultados	29
4. Conclusiones	30

D) INFORME FINAL DEL PROYECTO

1. Presentación del proyecto

1.1. Problemática

Desde inicios del año 2020 hasta la fecha, la pandemia causada por el virus SARS-CoV-2, que ha afectado al mundo entero, ha mostrado más de 253 millones de casos de la enfermedad COVID-19 y la muerte a más de 5,1 millones de personas en todo el mundo (5.109.722 al 14 de noviembre). En Chile, se han registrado un total de 1.730.650 casos y causado más de 37.975 muertes de acuerdo con los indicadores del Departamento de Estadísticas del Ministerio de Salud¹. La alta capacidad de propagación del virus en la población² ha llevado al gobierno a implementar una serie de medidas y protocolos de mitigación y prevención de contagio en establecimientos de salud, comercio, educación, transporte, y trabajo³.

La reactivación gradual de la actividad económica en tiempos de la actual Pandemia ha desencadenado una fuerte polémica respecto al riesgo de exposición al virus, tanto en trabajadores como visitantes o clientes de diversos rubros. Dentro de las principales rutas de transmisión están las gotas de respiración conteniendo el virus, los llamados *aerosoles*. La posible transmisión por esta vía ha sido estudiada por la comunidad científica desde el mes de marzo de 2020, y reconocida por la OMS y CDC el 20 de septiembre del 2020, en función a la nueva evidencia científica de éste y otros virus de características similares⁴.

Los aerosoles se originan en las diferentes partes del sistema respiratorio y se forman al respirar, hablar, gritar, cantar, toser, estornudar, o reír⁵. En el caso particular del SARS-CoV-2, este se almacena especialmente en las glándulas salivales. Según la actividad física, el tamaño y distribución de estas gotas o microgotas variará la dispersión de estos aerosoles, lo que influirá en su comportamiento y tiempo de permanencia en el aire y, por lo tanto, de la concentración de copias de ARN (moléculas del Ácido Ribonucleico) por mililitro de aerosol presentes en el ambiente. Esta concentración de copias de ARN dependerá, además, de las condiciones físicas y de ventilación del lugar de exposición; y del número de copias de ARN que finalmente serán inhaladas por otras personas. Por otra parte, las copias de ARN inhaladas se verán afectada finalmente por la actividad física, tiempo de exposición y ciertas variables fisiológicas de los ocupantes (ver sección 1.2.).

Como medidas de mitigación y control, diversos grupos internacionales responsables de los sistemas de ventilación en edificios han entregado recomendaciones para ayudar a diluir los aerosoles con SARS-CoV-2 y disminuir el riesgo de contagio. Luego de casi dos años, aún se desconoce el nivel aceptable de exposición a este nuevo virus, o la dosis mínima para ser contagiado, por lo tanto, es difícil prescribir un nivel mínimo de ventilación que minimice el riesgo de contagio. Por lo tanto, la recomendación actual de los grupos de expertos sigue siendo el **proveer del máximo caudal de aire exterior como sea razonablemente posible**⁶.

¹ Gob.cl - Cifras Oficiales (www.gob.cl)

² Esto es normalmente calificado a través del número R (*reproduction number*), definido como la cantidad de personas a las que una persona infectada transmitirá la enfermedad en un periodo y lugar determinado.

³ <https://www.gob.cl/coronavirus/protocolos/>

⁴ European Centre for Disease Prevention and Control. 2020. *Heating, Ventilation and Air-Conditioning Systems In The Context Of COVID-19: First Update*. [online] Available at: <<https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/heating-ventilation-air-conditioning-systems-covid-19>> [Accessed 30 November 2020].

⁵ Chao et al., 2009. Characterization of expiration air jets and droplet size distributions immediately at the mouth opening, *Journal of Aerosol Science*

⁶ <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/how-covid-spreads.html>

Como grupo de trabajo del presente proyecto, y debido al estado de conocimiento de esta pandemia y la presencia de nuevas variantes, **no nos fue posible definir las condiciones físicas o situaciones en las cuales existan cero riesgo de contagio**. Sin embargo, sí fue posible realizar un análisis comparativo de los recintos de trabajo en función de sus características de diseño, condiciones de uso, y características fisiológicas de la población chilena y de actividades ejecutadas por los trabajadores.

A continuación, se describen con mayor detalle el modelo y método de estimación aplicado (ver Sección 1.2), los objetivos del proyecto (ver Sección 2), y resultados (Sección 3).

1.2. Modelamiento del virus SARS-CoV-2 propuesto y resultados preliminares

El proyecto aplicó un modelo matemático y un marco o estructura estadística que permite estimar la incertidumbre de los resultados en función al número de copias de ARN del genoma del SARS-CoV-2 (medido como proporción de los viriones que son infecciosos), Σn , que son depositadas en el tracto respiratorio de una persona susceptible (en adelante descritas como *copias de ARN inhaladas*), durante un período de exposición en un volumen de aire interior bien mezclado.

Para calcular las copias de ARN inhaladas se usó el modelo de balance de masas. Este es ampliamente utilizado en el estudio de concentración de otros contaminantes en ambientes interiores. El modelo asume que la generación de ARN del virus, G , es constante en el tiempo y que éstas son instantáneas y uniformemente mezcladas en la totalidad del volumen del recinto. Además, asume cero transporte de copias ARN desde el exterior u otros ambientes del edificio, por lo que los únicos mecanismos de remoción del virus, ϕ , son a través de la ventilación, infiltraciones de aire del exterior, deposición sobre las superficies, decaimiento o inactivación biológica, y por absorción en el tracto respiratorio de todos los ocupantes. A partir de estos supuestos, se definió el número de copias de ARN n en el espacio en el tiempo t como:

$$\frac{dn}{dt} = G - n(t) \phi$$

El número de copias de ARN inhaladas, o Σn , depende entonces de la concentración de éstas en el espacio, y de la tasa de absorción del tracto respiratorio, la que a su vez es dependiente de la tasa de inhalación del individuo.

Sin embargo, y como se refuerza ahora para el contexto chileno, los valores de estos parámetros son altamente variables. Algunos varían naturalmente, ya sea por el tipo de recinto, actividades llevadas a cabo en él, o características demográficas de los ocupantes (*incertidumbres de tipo natural o física*), mientras que otros lo hacen por el nivel de incertidumbre de los datos (también conocida como *incertidumbre epistémica*). Debido a esto, el proyecto optó por una estimación probabilística, la que permite reconocer e incorporar la incertidumbre en estos valores en el modelamiento y reemplazando los valores fijos (modelo determinista) por una función de probabilidad (modelo probabilístico).

Así mismo, la predicción de copias de ARN inhaladas que se obtuvo con este modelamiento, más que un número fijo es una distribución de posibles resultados, de los que se reportan sus **percentiles** ($P_{2,5}$; P_{25} ; P_{50} ; P_{75} ; $P_{97,5}$). Se vio que esta distribución no responde a una distribución normal, por lo que su mejor descriptor de tendencia central no es la media sino la **mediana** (P_{50}), valor que fue utilizado en este reporte para rankear los edificios. Igualmente es posible usar el $P_{2,5}$ y $P_{97,5}$ como indicadores de la dispersión de su distribución estadística.

Finalmente, al relacionar la mediana de *copias inhaladas de ARN* de un escenario de referencia con otras localidades, se pudo establecer un **Índice de Exposición Relativa (IER o REI** por sus siglas en inglés). Este índice se calculó en función al volumen del espacio, tasa de emisión viral, tiempos de exposición, actividad respiratoria del ocupante, y ventilación del recinto, lo que redujo la necesidad de entender la probabilidad de la dosis requerida para la infección. Este indicador sigue siendo relevante aun cuando se ha reportado la llegada a Chile de otras variantes, ya que la comparación se realiza con parámetros común para todos los tipos de recintos. Para este proyecto utilizó un **escenario base** representado por la *oficina de un departamento de trabajo*, con el que fueron comparadas el resto de lastipologías y se calculó el IER de éstas.

1.3. Escenarios de exposición

Se incluyeron cuatro escenarios de exposición incluidos en el modelo, escenarios A, B, C, y D.

- Escenario A: Emisión constante durante un período de 7 h. Tanto la persona infectada como la(s) susceptibles ingresan al recinto al mismo tiempo y se mantienen en él durante todo el tiempo de exposición ($T = T_i = 7h$)*.
- Escenario B: Emisión constante. Tanto la persona infectada como la(s) susceptibles ingresan al recinto al mismo tiempo, pero la persona infectada abandona el espacio después de 1 hora, T , y los ocupantes susceptibles permanecen por las 6 horas restantes, T_i .
- Escenario C: Emisión constante. Luego de una (1) hora, T , la persona infectada abandona el espacio y entra una persona susceptible, quien permanece por 1 hora en el recinto (T_i).
- Escenario D: Luego de una (1) hora la persona infectada abandona el espacio (T) y entra una persona susceptible, quien permanece por 6 horas en el recinto (T_i).

*Cabe destacar que Tanto los tiempos de exposición, T_i , como los de emisión del virus, T , son posibles de modificar.

La figura 1 muestra cómo el número de copias de ARN presentes en el recinto (eje ordenadas principal) inhaladas (eje ordenadas secundario) varían en el tiempo (eje abscisas) para estos cuatro escenarios. Para todos los escenarios se consideró que ninguno de los ocupantes utiliza mascarilla. La figura 2 representa las entradas y salidas del recinto tanto de la persona infectada como de la persona susceptible.

Figura 1: Copias de ARN $n(t)$ en un recinto (---) y copias de ARN inhaladas ($\sum n$) (—) en el tiempo, bajo cuatro condiciones o escenarios de exposición.

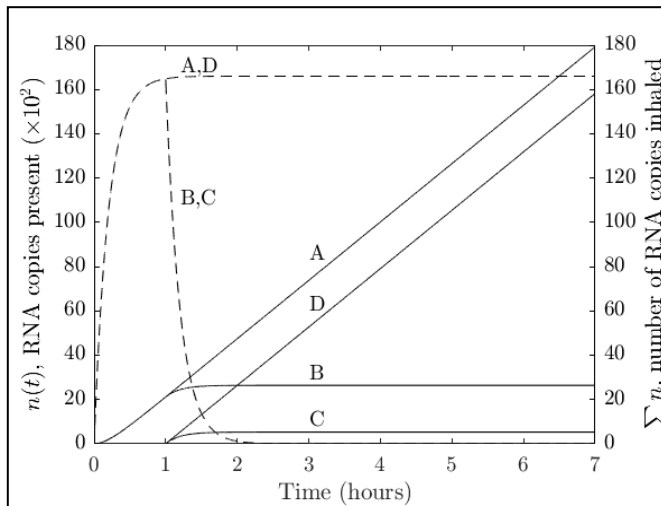
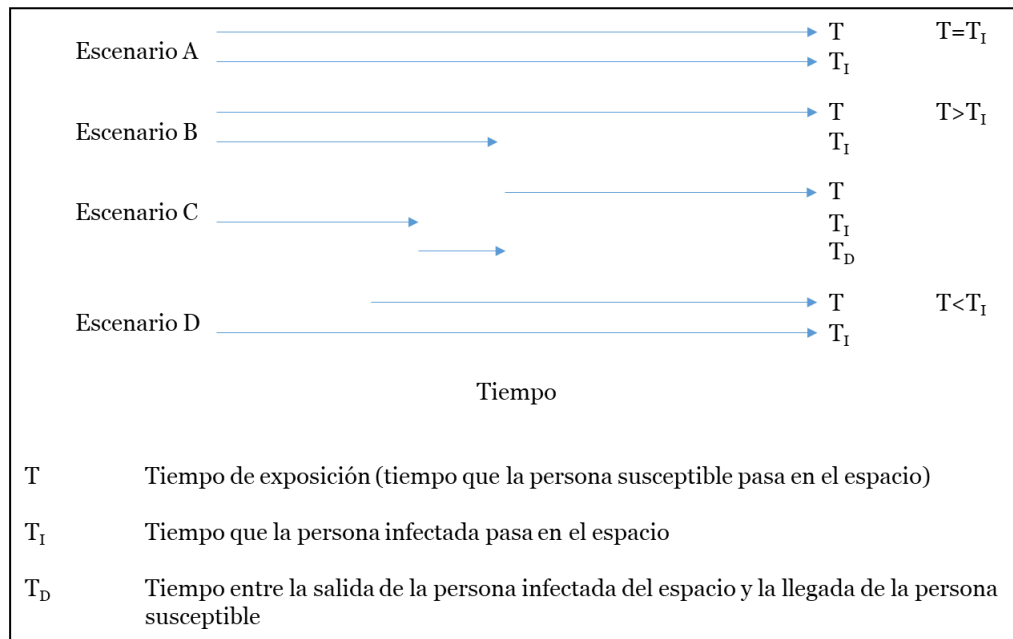


Figura 2: Ejemplo gráfico mediante flechas del tiempo de exposición de la persona infectada como de la susceptible al contagio del virus, según los distintos escenarios considerados previamente.



1.4. Literatura y estado del arte

A continuación, se entregan algunos artículos de interés que informaron sobre el comportamiento del virus, el riesgo de transmisión, medidas de mitigación y control.

- Allen *et al.*, 2021 entrega un panorama general de la importancia de la ventilación y el uso de equipamiento para reducir la transmisión y el control de la enfermedad.

Allen, J. G., & Ibrahim, A. M. (2021). Indoor Air Changes and Potential Implications for SARS-CoV-2 Transmission. *JAMA*, 325(20), 2112-2113.

<https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2779062>

- Borges, 2021 realiza una revisión sistemática de técnicas para detectar for SARS-CoV-2 y entrega algunas recomendaciones.

Borges, J. T., Nakada, L. Y. K., Maniero, M. G., & Guimarães, J. R. (2021). SARS-CoV-2: a systematic review of indoor air sampling for virus detection. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13001-w>

- Greenhalgh *et al.*, 2021, se refiere a la importancia de considerar la propagación del virus a través del aire. Un artículo general.

Greenhalgh, T., Jimenez, J. L., Prather, K. A., Tufekci, Z., Fisman, D., & Schooley, R. (2021). Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2. *The lancet*, 397(10285), 1603-1605.

[https://www.thelancet.com/article/S0140-6736\(21\)00869-2/fulltext](https://www.thelancet.com/article/S0140-6736(21)00869-2/fulltext)

- Qian et al., 2021 revisa los brotes en China. Recalca la importancia de mejorar las condiciones higiénicas y de ventilación de los recintos donde residimos y trabajamos para reducir la transmisión.

Qian, H., Miao, T., Liu, L., Zheng, X., Luo, D., & Li, Y. (2021). Indoor transmission of SARS-CoV-2. *Indoor Air*, 31(3), 639-645.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ina.12766>

- Tang et al., 2021 escriben un artículo sobre la terminología y por qué los aerosoles significan transmisión tanto en el corto como en el largo alcance, con especial énfasis en la necesidad de los elementos de protección personal adecuado en entornos sanitarios.

Tang, J. W., Marr, L. C., & Milton, D. K. (2021). Aerosols should not be defined by distance travelled. *Journal of Hospital Infection*.

<https://www.journalofhospitalinfection.com/article/S0195670121002103/abstract>

- Peng et al., 2021 - escriben sobre el uso del CO₂ como indicador de riesgo de transmisión y entregan recomendaciones.

Peng, Z., & Jimenez, J. L. (2021). Exhaled CO₂ as a COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities. *Environmental Science & Technology Letters*, 8(5), 392-397.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.estlett.1c00183>

- Dhawan et al., 2021 entrega un modelo para transmisión a corta distancia.

Dhawan, S., & Biswas, P. (2021). Aerosol Dynamics Model for Estimating the Risk from Short-Range Airborne Transmission and Inhalation of Expiratory Droplets of SARS-CoV-2. *Environmental Science & Technology*.

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.1c00235>

- Walker et al., 2021 - Este paper explora los mecanismos de formación y transmisión de los aerosoles, el tamaño de las gotículas y cómo estas cambian a medida que se evaporan.

Walker, J. S., Archer, J., Gregson, F. K., Michel, S. E., Bzdek, B. R., & Reid, J. P. (2021). Accurate representations of the microphysical processes occurring during the transport of exhaled aerosols and droplets. *ACS central science*, 7(1), 200-209.

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acscentsci.0c01522>

- Liu et al., 2017 - Aunque no es el más reciente artículo de este grupo, este habla sobre por qué la ventilación no es un el único mecanismo para evitar transmisión por corta distancia.

Liu, L., Li, Y., Nielsen, P. V., Wei, J., & Jensen, R. L. (2017). Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people. *Indoor air*, 27(2), 452-462.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ina.12314>

2. Resumen del método y resultados

Para su ejecución de este proyecto se reunieron capacidades de tres disciplinas: La Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, institución patrocinante del proyecto, el Department of Architecture and Built Environment de la University of Nottingham, de Reino Unido, y la Escuela de Medicina de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

El proyecto aplicó un modelo analítico para comprender el riesgo relativo de contagio por aerosoles contaminados con partículas del virus SARS-CoV-2, en diferentes ambientes de trabajo en Chile. Para ello se identificaron tipologías de edificios representativos en donde se llevan a cabo la mayoría de las actividades laborales en el país (ver resultado 3.2.1.). El modelo incorporó tanto las propiedades físicas y arquitectónicas de los edificios como las características fisiológicas de los trabajadores y sus actividades laborales, para así identificar qué recintos presentan mayores riesgos de presentar casos de COVID-19. Para ello se revisaron bases de datos y normativas de diseño nacionales y de conocimiento público que informaran sobre las características arquitectónicas y fisiológicas de los edificios y sus ocupantes, respectivamente. Luego, se integran estas variables de cada tipología en la herramienta de cálculo, la que entrega el espectro completo de posibles resultados (número de copias de ARN inhaladas). Se selecciona la mediana de estos resultados para cada una de las tipologías de edificios, las que son comparadas con la mediana del edificio representativo. Como resultado, se entrega el ranking de los recintos por riesgo de exposición bajo diferentes escenarios de exposición (ver sección 1.3.), junto con su valor de riesgo relativo, en donde es mayor o menor a 1 si su riesgo es mayor o menor al edificio de referencia, respectivamente.

A partir de estos resultados se realizó una recopilación de medidas de prevención de esta enfermedad en el trabajo. Para ello se revisaron publicaciones que recomendaran medidas de intervención o mitigación y según las variables que más impacto generan en los resultados, y consulta con un experto en climatización y sistemas de ventilación mecánica sobre estas medidas.

Finalmente, el proyecto desarrolló la herramienta de cálculo en un formato que optimiza el gasto computacional y permite registrar los resultados de los cálculos. Se incorporan formularios de entrada y su manual de uso en donde se describen las variables (glosario), cómo obtener esa información, y cómo realizar las simulaciones. Tanto la herramienta como su manual deberán ser actualizados a medida que aumente nuestro conocimiento sobre el virus y la enfermedad, o se cuente con un modelo matemático más preciso. Esta herramienta permite modificar tanto los parámetros del edificio como de las personas, y con esto evaluar potenciales medidas, tales como alternativas de uso de los recintos (ej. diseño de los espacios) o ajustes en la gestión de personas (ej. aforos, turnos, jornadas, etc.) y/o de la operación de sus instalaciones (ej. tasas de ventilación).

2.1. Objetivos

2.1.1. General

Determinar el riesgo de infección al virus SARS-CoV-2 en recintos de trabajo.

2.1.2. Objetivos Específicos

1. Definir y caracterizar los recintos o edificios de interés donde pueda ocurrir exposición al SARS-CoV-2.
2. Definir y caracterizar las actividades y parámetros biológicos y de salud de los trabajadores y usuarios.
3. Estimar el riesgo de infección por tipología de recinto de trabajo mediante simulaciones basadas en el método de Monte Carlo.
4. Recomendar un enfoque de buenas prácticas para el uso de los recintos y su ventilación en periodos de pandemias vinculadas a aerosoles.

3. Resultados del proyecto

Resultado 1: Estudio comparativo

3.2. Descripción de actividades

3.2.1. Definir listado de recintos de trabajo a estudiar

Para definir el listado de edificios a analizar, se revisó en la literatura nacional, específicamente las leyes, reglamentos, y normativas que hicieran mención del diseño de edificios de servicio o terciarios.

El listado de normativas y manuales técnicos atingentes al estudio revisados se listan a continuación y se describen brevemente en el Anexo N° 1:

- a. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, OGUC
- b. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios en Chile, RITICH
- c. Términos de Referencia Estandarizados, TDR - Ministerio de Obras Públicas
- d. Documento Técnico Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT - Sistemas de Ventilación para Edificaciones
- e. Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones
- f. Estándar ANSI/ASHRAE 62.1 - 2016. Ventilación para una Calidad Aceptable de Aire Interior
- g. MINSAL Decreto Supremo N° 594
- h. Codificación de Tipologías y Subtipologías

El listado final de recintos de trabajo que fueron considerados en este estudio se presenta a continuación y los documentos que informaron sobre su diseño se presentan en el Anexo N° 1, Tabla A1.2., definiendo tipologías y sub-tipologías de recintos según corresponde. Un ejemplo de tipología de recinto de trabajo son los Establecimientos Educativos y sus sub-tipologías serían los establecimientos educativos de nivel medio, básico, y superior.

Tabla 1: Tipologías y sub-tipologías estudiadas.

TIPOLOGÍA		SUBTIPOLOGÍA	
1	Oficina	1.1	Planta libre
		1.2	Departamento
2	Container	2.1	-
3	Call center	3.1	-
4	Gimnasio	4.1	-
5	Restaurante	5.1	-
6	Establecimientos educativos	6.1	Parvulario
		6.2	General básico
		6.3	Medio
		6.4	Básico especial
		6.5	Superior
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.1	Hospital
		7.2	Clínica
		7.3	Consultorio
		7.4	Postas
		7.5	Centro de diagnóstico
		7.6	Centro de especialidad
		7.7	Centro de referencia
8	Teatros y otros locales de reuniones	8.1	Teatro
		8.2	Auditorio
		8.3	Salas de exhibiciones (cine)
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.1	Hotel
		9.2	Motel
		9.3	Apart-hotel
		9.4	Residencial
		9.5	Pensión
		9.6	Hogar de ancianos o niños
		9.7	Hospedería
		9.8	Casa de acogida
10	Centro Comerciales	10.1	Centro comercial abierto
		10.2	Centro comercial cerrado
		10.3	Supermercado

3.2.2. Recopilación de bases de datos y revisión de normativas técnicas

Según el conocimiento del equipo de trabajo, no existen aún en Chile tipologías de edificios representativos que sean aplicables a la evaluación de riesgo laboral. Además, las actuales bases de datos de conocimiento público no cuentan con información sobre las dimensiones de los recintos de trabajo o sistemas de ventilación y la información necesaria no es manejada por los trabajadores, por lo que fue posible de recopilar a través de encuesta. La base de datos más detallada corresponde a los permisos de edificación, que incluye la información suministrada por el arquitecto a través del Formulario Único de Edificación (FUE) al momento de solicitar los permisos a la Dirección de Obras Municipales (DOM) correspondiente. Esta información es registrada por la DOM una vez aprobado los permisos, y centralizada a nivel regional y nacional a través del INE, quienes la validan y reportan mensualmente para fines estadísticos. Dentro de los datos entregados en el FUE, se encuentra el destino y superficie total a edificar, sin embargo, no recoge información de las superficies de cada recinto o densidad de ocupación.

Se buscó información sobre parámetros de diseño a partir de información y documentos recopilados en la

Sección 3.2.1. Las fuentes escogidas tienen carácter de normativo de origen nacional (principalmente la Ley General de Urbanismo y Construcciones), recomendaciones internacionales (lo estipulado en la ANSI/ASHRAE 62.1 - 2016), manuales de instalación de especialidades como climatización, promedio de diversos recintos de la misma tipología que se encuentran/encontraban disponibles en el mercado (como portales de venta/arriendo de vivienda y oficinas, fabricantes y proveedores de contenedores tipo oficina, entre otros) y datos de proyectos existentes, como es el caso de los centros comerciales.

3.2.3. Definición de actividades laborales y tipo de trabajadores a incluir

Una vez determinados los recintos de trabajo a ser analizados, se procedió al vínculo con sus respectivos ocupantes, con el objetivo de generar una codificación que permitiera clasificar a los ocupantes y computar sus estadísticas descriptivas.

El método de codificación se realizó mediante la vinculación lógica entre tipologías y sub-tipologías de recintos, con los ocupantes que comúnmente los frecuentan. La codificación se apoyó en la estructura de “Clasificación internacional uniforme de ocupaciones” o CIUO-88. La CIUO-88, ampliamente usada en encuestas nacionales, es parte de la familia internacional de clasificaciones económicas y sociales de las Naciones Unidas⁷. Esta cuenta con 4 niveles establecidos de acuerdo con el tipo de trabajo realizado, que se refleja en cada nivel, y en la especialización, de las calificaciones requeridas para desempeñar un empleo. La versión actual, conocida como CIUO-08, se publicó en 2008 y es la cuarta iteración, después de la CIUO-58, CIUO-68 e CIUO-88. Se compone de 9 grupos además de las Fuerzas Armadas. Entendemos que Chile no tiene una adaptación o clasificación nacional, o una propia, por lo que se utilizó ésta en el estudio.

Para esta investigación en particular, se decidió generar una variable de 5 cifras, siendo los dos primeros correspondientes a la tipología y sub-tipología de los edificios, y los siguientes tres a los 3 primeros niveles de la variable de la CIUO-88.

A continuación, se presenta un ejemplo de la codificación respectiva:

Figura 3: Codificación empleada para la asignación de ocupantes a cada tipología y sub-tipología de edificios. Los primeros dos dígitos corresponden al orden particular empleado en el estudio y tienen relación con las tipologías consideradas en el alcance del estudio. Los siguientes dígitos tienen relación con la CIUO-88 y van desde una clasificación general a una específica.

6.3.233 - Profesores de Enseñanza secundaria	
<i>Recinto</i>	
6	Tipología - Establecimientos Educativos
3	Sub-tipología - Medio
<i>Ocupante</i>	
2	Profesionales, científicos e intelectuales
3	Profesionales de la enseñanza Profesores de
3	Enseñanza Secundaria

Se realizó un total de 163 asignaciones. La codificación realizada se encuentra en el Anexo N° 3 “Códigos

⁷ OIT. Oficina Internacional del Trabajo. (1991). *Clasificación internacional uniforme de ocupaciones CIUO-88*. Oficina Internacional del Trabajo. OIT.

de tipología y ocupación según CIUO88”.

Observación: La tipología de “Teatros y otros locales de reuniones” no tiene ocupantes asociados debido a que no se encontraron concordancias entre los ocupantes lógicos de dicha tipología y las clasificaciones disponibles en la CIUO-88.

3.2.4. Revisión de la literatura y bases de datos nacionales de parámetros biológicos de la población

Dentro de estas actividades se incluyó una revisión de la literatura científica en la base de datos Pubmed (de la National Library of Medicine, de Estados Unidos) y de la base Scielo, que compila publicaciones especialmente de países de habla hispana y portugués. El objetivo fue identificar parámetros biológicos tal como la tasa de inhalación, peso, talla, y sus variaciones por edad, actividad laboral, en población chilena sana o con alguna comorbilidad. Ver revisión de la literatura, tabla Anexo 4.

Adicionalmente, se revisaron bases de datos generadas de carácter poblacional por estudios en personas. Entre las bases revisadas se encuentran:

- Encuesta Nacional de Calidad de vida y Salud (ENCAVI), cuyo objetivo fue establecer una línea basal para planes y programas para el cumplimiento de los Objetivos Sanitarios de la década. Se ha realizado los años 2006, 2006, 2015-16. Usa una muestra de personas mayores de 15 años, sin embargo, no entrega datos fisiológicos de los participantes.
- Encuesta Nacional de Condiciones de Empleo, Trabajo, Calidad de vida y Salud de los trabajadores de Chile. Se realizó el año 2009 e incluye en su base de datos información general del estado de salud, condiciones de empleo, y acceso a salud.
- Encuesta de Caracterización Socioeconómica (CASEN) es realizada por Ministerio de Desarrollo Social desde el año 1990 y su periodicidad es bianual o trianual. En la CASEN 2017, se evaluaron personas en todo el país, describiéndose la composición de los hogares a nivel nacional, regional, y su caracterización socioeconómica. No recolecta datos individuales de los participantes ni sus condiciones de salud.
- Encuesta Nacional de Salud, realizada por el Ministerio de Salud, ha sido realizada los años 2003, 2009-10, y 2016-17, con el objetivo de establecer la prevalencia de las enfermedades que afectan a la población adulta chilena, establecer sus factores de riesgo o protectores, establecer la efectividad de los planes y programas para el control de las enfermedades más prevalentes, identificando diferencias por sexo, nivel socioeconómico y regionales, en la población de 15 o más años que viven en Chile. Este estudio nacional proporciona una base de datos con información detallada de más de 7000 personas. La información obtenida es relevante para estos estudios, ya que permite fortalecer las acciones de vigilancia epidemiológica de las enfermedades más importantes, de manera de establecer directrices para formular o fortalecer planes de prevención y control (atención) estableciendo prioridades de acción para las personas que lo necesitan. La representatividad de la encuesta es nacional, regional y urbano/rural. El modo de aplicación es a través de una entrevista personal en los hogares de las personas, aplicadas por un encuestador y un profesional, utilizando diversos instrumentos, entre ellos varios cuestionarios ya validados en Chile, así como pruebas clínicas, medidas antropométricas y pruebas específicas para determinados subgrupos de la población. El tamaño muestral fue de 6.233 encuestados, de los cuales 5.520 contaba con exámenes de laboratorio de acuerdo al protocolo.

Para este estudio, se decidió utilizar la ENS 2016-17 dadas sus fortalezas y su contenido de carácter individual de las variables necesarias para la caracterización fisiológica y del estado de salud de los

trabajadores⁸. Entre estas, la variable “as_17_1” de la Encuesta Nacional de Salud responde a la pregunta “¿Qué ocupación o tipo de trabajo desempeña actualmente?”, y tiene relación con los códigos internacionales CIUO-88, por lo que fue utilizada para agrupar las entradas según las diversas tipologías de los recintos realizadas en la actividad 3.2.4 y obtener estadísticas descriptivas de los subgrupos de la población representativos de aquellos.

También otorgó información relevante sobre parámetros básicos, tal como edad, sexo, peso, talla, actividad física, autoreporte de varias enfermedades, sospecha clínica las enfermedades más frecuentes (prevalencias de alcance nacional o regional), todas de utilidad para este estudio. Su principal limitación es que no proporciona información específica sobre funcionalidad respiratoria que permita establecer una aproximación de la tasa de inhalación de las personas, por lo cual, para esta variable, fue necesario usar un modelo internacional de la literatura científica (Adams, 1993).

3.2.5. Descripción de las propiedades físicas y arquitectónicas de los recintos (HITO 2)

Luego de definir las tipologías y sub-tipologías que fueron parte de este estudio, se desglosó la búsqueda de información que permitió determinar aquellas características particulares de cada una. En este punto tomaron relevancia aquellas características espaciales como son el área de los recintos y su respectiva altura piso-cielo, con lo que se logró determinar el volumen de aire dentro de cada uno de ellos. Para determinar dichos valores, la búsqueda se enfocó en aquellos recintos de trabajo de menores dimensiones, ya que es en dichos lugares donde se esperaría mayor concentración del virus y por tanto mayor riesgo de exposición. Los valores que se presentan provienen de la actividad 3.2.2.

El número de personas infectadas fue establecido por parte del equipo investigador como la presencia de una (1) persona contagiada por SARS-CoV-2 dentro de los recintos, independiente de su tipología o sub-tipología.

El número total de ocupantes dentro de los recintos se obtuvo mediante la división de los metros cuadrados de superficie de cada tipología, por un número máximo permitido de personas por metro cuadrado, el cual tiene origen en el Decreto Supremo N° 47: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC⁹).

En el caso de la exposición de la persona infectada, se consideró el mismo valor que el tiempo de jornada laboral, ya que se consideró la posibilidad de que dicha persona deja el recinto dentro de un tiempo corto, hasta la posibilidad de que se mantenga dentro de dicho recinto durante toda su jornada laboral.

Respecto a la tasa de ventilación de cada recinto en particular, se fijan dos escenarios posibles: que el recinto sea ventilado mecánica o naturalmente (no forzada). Para establecer las condiciones dadas por un sistema de ventilación mecánica, se acudió a la norma internacional ASHRAE 62.1-2019, donde se establece el valor mínimo de ventilación para cada recinto particular dentro de cada tipología. Dicha información se resume dentro del anexo N° 6 “Propiedades físicas y arquitectónicas de los recintos a modelar”.

En el caso de la ventilación natural, el equipo investigador se apoyó en los resultados obtenidos en la actividad 3.2.2, donde se identificó todos aquellos que presentan ventilación a través de ventanas, por donde se genera intercambio de aire con el exterior. Además, se adoptó un escenario más conservador al asumir una diferencia de temperatura interior-exterior de 3 °C, y que no hay acción del viento exterior, ya que este depende fuertemente de la altura del edificio, obstrucciones exteriores, densidad urbana del sector, entre otras variables. Se identificó, entonces, el porcentaje de superficies vidriadas para cada tipología en particular por superficie del recinto. Se asumieron ventanas de tipo corredera, las que permiten un 50% de área de apertura efectiva, con lo que se calculó finalmente la tasa de cambio de aire.

⁸ [ENS - Encuesta nacional de salud - EPI - Departamento de Epidemiología \(minsal.cl\)](https://nchs.cdc.gov/epi/ens/)

⁹ Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2020). Ordenanza general de urbanismo y construcciones

Tabla N°2: Categorías de ocupación respectivas para determinación de la ventilación mecánica según tipología.

Tipología		Categoría de Ocupación
1.	Oficina	Salas de descanso
2.	Container	Espacio de oficina
3.	Call Center	Espacio de oficina
4.	Gimnasio	Sala de aeróbica
5.	Restaurante	Comedores
6.	Establecimientos Educativos	Salones de Clase (5 a 8 años) *
		Aula Multiusos
7.	Edificios de asistencia hospitalaria	Salas de descanso
8.	Teatros y otros locales de reuniones	Salas de audiencia
9.	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	Habitación
10.	Centros Comerciales	Ventas
		Supermercado**

* : Sólo aplica para la sub-tipología de Parvulario (6.1), correspondiente a la tipología de Establecimientos educacionales (6).

** : Sólo aplica para la sub-tipología de Supermercado (10.3), correspondiente a la tipología de Centros Comerciales (10).

Cabe destacar que existe un número mayor de categorías de ocupación, por lo que los resultados relativos a las categorías de ocupación presentes en la tabla N°2 no son los únicos posibles de determinar. Sólo fueron escogidos a modo de buscar el recinto más representativo por tipología.

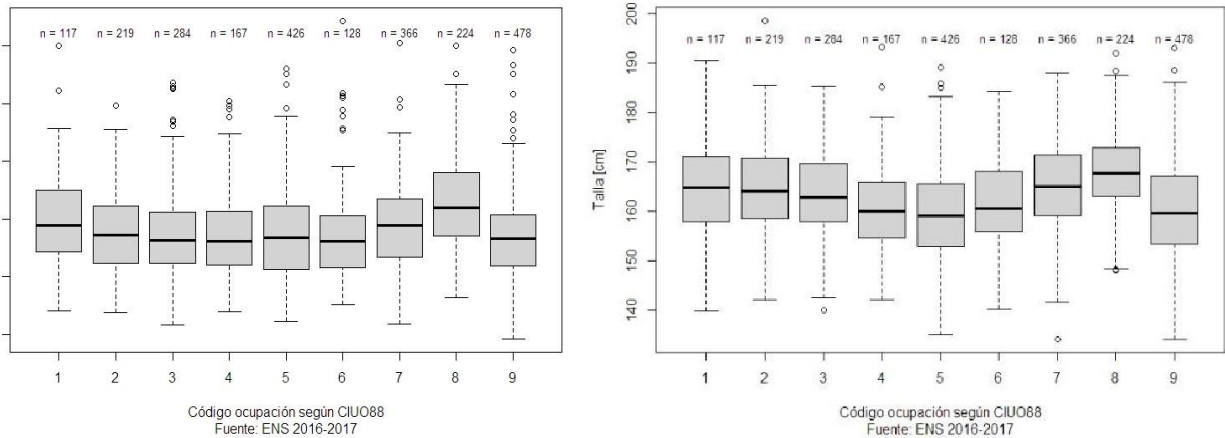
3.2.6. Definición de variables del ocupante (distribuciones) a incluir en el modelamiento

A partir de la base de datos de la Encuesta Nacional de Salud 2016-2017¹⁰ se logró caracterizar la población adulta de Chile, y establecer algunas características biológicas y demográficas a nivel nacional. Dentro de la abundante cantidad de variables que conforman su base de datos, más de 1100 variables, se pudo identificar algunas fundamentales a usar en este estudio, entre ellas variables biológicas tales como edad, sexo, actividad física, peso y talla, las que se presentan como variables continuas y también categorizadas según criterios previamente definidos por agencias internacionales, o bien bajo criterios estadísticos; de igual manera, se consulta sobre ocupación y actividad que realiza en su trabajo, tanto como pregunta abierta como codificada. Para establecer la tasa de respiración del trabajador, se identificaron aquellos participantes que reportaron en la ENS haber estado trabajando al momento de su evaluación. A partir del peso y talla de cada participante de este subgrupo se calculó la superficie corporal (BSA, *body surface area* en inglés) y la frecuencia respiratoria. Este cálculo se fundamenta en las ecuaciones establecidas por Adams, 1993¹¹, en las que se obtiene el $BSA = (71,84 * Talla^{0,725} * Peso^{0,425}) / 10000$ [cm²], para obtener finalmente las estadísticas descriptivas de VE (tasa de respiración) por cada actividad económica. Adams 1993, propone estimadores de HR (frecuencia cardíaca), f_b , según el BSA y para tres condiciones de actividad física: en descanso, sentado, y caminando.

¹⁰ ENS 2016-2017: Ministerio de Salud de Chile. Encuesta Nacional de Salud 2016 -2017. Disponible en: <http://epi.minsal.cl/encuesta-nacional-de-salud-2015-2016/>

¹¹ Adams, W. C. (1993). Measurement of breathing rate and volume in routinely performed daily activities. *Final Report Contract*, (A033-205).

Figura 4: Distribución de peso y talla de los trabajadores, agrupados según su ocupación o actividad económica.



3.2.7. Revisión de la literatura científica – variables de interés relacionadas al virus SARS-CoV-2

Se adjunta el Anexo 9.

3.2.8. Ejecución de las simulaciones de Monte Carlo con los datos de entradas para estimar las exposiciones al virus en los recintos

A continuación, se presenta un ejemplo de las variables de entrada para uno de los recintos, la sala de clases de enseñanza secundaria:

6.3./233	- Profesores de Enseñanza secundaria
<i>Recinto</i>	
Tipología - Establecimientos Educativos	
3	Subtipología - Medio
<i>Ocupantes</i>	
2	Profesionales, científicos e intelectuales
23	Profesionales de la enseñanza
233	Profesores de Enseñanza Secundaria

Tabla N°3: Variables de entrada.

Variables de entrada	Distribución	Media/mín/ constante	Desv. St./máx	Unidad
Tipo de escenario	Fijo (A, B, C, o D)	NaN	NaN	-
Área recinto	Constante	30	-	m ²
Volumen recinto	Constante	84	-	m ³
Número de individuos infectados	Constante	1	-	-
Número total de ocupantes	Constante	28	-	-
Tiempo de exposición	Constante	25200	-	s
Tiempo que el infectado ocupa el recinto	Constante	25200	-	s
Tiempo cuando el infectado deja el recinto	Constante	0	-	s
Eficacia de filtración de la mascarilla al inhalar (valor entre 0 y 1)	Fija	0	-	-
Eficacia de filtración de la mascarilla al exhalar (valor entre 0 y 1)	Fija	0	-	-
Fracción de deposición en los pulmones, k	Uniforme	0.43	0.65	-
Tasa de respiración del susceptible q_s	Normal	1.21E-04	1.21E-05	m ³ /s
Tasa de respiración del infectado q_v	Normal	1.21E-04	1.21E-05	m ³ /s
Tasa de respiración promedio	Normal	1.21E-04	1.21E-05	m ³ /s
Concentración de aerosoles en el aire exhalado	Normal	1.54E+05	1.54E+04	droplets /m ³
Diámetro de la gota	Normal	1.84E-06	1.84E-07	m
Tasa de ventilación	Constante	5.68E-03		/s
Tasa de decaimiento biológico	Lognormal	1.75E-04	0.43	/s
Tasa de deposición en las superficies	Uniforme	1.17E-04	1.25E-04	/s
Concentración de los virus en las gotas exhaladas	Normal	3.75E+17	3.75E+16	virus/m ³
Dosis, constante	Constante	410	410	
Proporción de viriones	Uniforme	0.01	0.1	

La tabla 4 presenta los valores de entrada para el resto de las sub-tipologías de edificios evaluados.

Tabla 4: Valores de entrada establecidos para cada una de las sub-tipologías de edificios

Building_tyr	Floor_are	Room_vo	N_infecte	Total_occ	qs	qs_SD	qv	qv_SD	Mean_qs	Mean_qs	Air_flow_rat	ACH_NV	ACRate_s	Air_flow	ACH_MV	ACRate_s_MV
11	340	850	1	34	1,66,E-04	5,55,E-05	1,66,E-04	5,55,E-05	1,66,E-04	5,55,E-05	1891,3	8,010105	0,002225	187	0,792	0,00022
12	53	132,5	1	3	1,66,E-04	5,55,E-05	1,66,E-04	5,55,E-05	1,66,E-04	5,55,E-05	185,2	5,033122	0,001398	23,4	0,635774	0,000176604
21	15	37,5	1	2	3,43,E-04	1,29,E-04	3,43,E-04	1,29,E-04	3,43,E-04	1,29,E-04	38,2	3,671058	0,00102	9,5	0,912	0,000253333
31	340	850	1	50	1,45,E-04	1,10,E-05	1,45,E-04	1,10,E-05	1,45,E-04	1,10,E-05	1891,3	8,010105	0,002225	227	0,961412	0,000267059
41	240	600	1	60	2,78,E-04	4,85,E-05	1,67,E-01	4,85,E-05	1,67,E-02	4,85,E-05	1223,7	7,342117	0,002039	672	4,032	0,00112
51	120	360	1	80	2,92,E-04	1,37,E-04	2,92,E-04	1,37,E-04	2,92,E-04	1,37,E-04	514,5	5,144967	0,001429	412	4,12	0,001144444
61	35,2	83,2	1	32	1,21,E-04	1,21,E-05	1,21,E-04	1,21,E-05	1,21,E-04	1,21,E-05	314,1	13,59279	0,003776	46,22222	2	0,000555556
62	30,8	84	1	28	1,21,E-04	1,21,E-05	1,21,E-04	1,21,E-05	1,21,E-04	1,21,E-05	265,9	11,39364	0,003165	46,66667	2	0,000555556
63	30,8	84	1	28	1,21,E-04	1,21,E-05	1,21,E-04	1,21,E-05	1,21,E-04	1,21,E-05	265,9	11,39364	0,003165	46,66667	2	0,000555556
64	30,8	84	1	28	1,21,E-04	1,21,E-05	1,21,E-04	1,21,E-05	1,21,E-04	1,21,E-05	265,9	11,39364	0,003165	46,66667	2	0,000555556
65	55	225	1	50	1,57,E-04	1,68,E-05	1,57,E-04	1,68,E-05	1,57,E-04	1,68,E-05	548,8	8,780603	0,002439	46,22222	2	0,000555556
71	160	480	1	26,66667	2,83,E-04	1,40,E-04	2,83,E-04	1,40,E-04	2,83,E-04	1,40,E-04	737,2	5,528626	0,001536	114,6667	0,86	0,000238889
72	160	480	1	26,66667	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	737,2	5,528626	0,001536	114,6667	0,86	0,000238889
73	9	27	1	3	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	20,2	2,692451	0,000748	10,2	1,36	0,000377778
74	150	450	1	50	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	680,0	5,44014	0,001511	170	1,36	0,000377778
75	12	36	1	4	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	28,9	2,893227	0,000804	13,6	1,36	0,000377778
76	12	36	1	4	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	28,9	2,893227	0,000804	13,6	1,36	0,000377778
77	12	36	1	4	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	28,9	2,893227	0,000804	13,6	1,36	0,000377778
78	64	192	1	8	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	2,78,E-04	1,36,E-04	663,2	12,4359	0,003454	106,6667	2	0,000555556
81	250	1625	1	83,33333	2,37,E-04	8,91,E-05	2,37,E-04	8,91,E-05	2,37,E-04	8,91,E-05	1287,7	2,852858	0,000792	283,3333	0,627692	0,000174359
82	300	1950	1	100	2,37,E-04	8,91,E-05	2,37,E-04	8,91,E-05	2,37,E-04	8,91,E-05	1617,4	2,985901	0,000829	340	0,627692	0,000174359
83	300	3000	1	100	2,37,E-04	8,91,E-05	2,37,E-04	8,91,E-05	2,37,E-04	8,91,E-05	1617,4	1,940836	0,000539	340	0,408	0,000113333
91	15,53125	46,59375	1	0,862847	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	39,9	3,08595	0,000857	6,816493	0,526667	0,000146296
92	28	70	1	1,555556	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	83,4	4,290995	0,001192	12,28889	0,632	0,000175556
93	28,44444	71,11111	1	1,580247	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	85,1	4,307922	0,001197	12,48395	0,632	0,000175556
94	15,53125	38,82813	1	0,862847	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	39,9	3,70314	0,001029	6,816493	0,632	0,000175556
95	15,53125	38,82813	1	0,862847	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	39,9	3,70314	0,001029	6,816493	0,632	0,000175556
96	6	15	1	1	2,93,E-04	1,30,E-04	2,93,E-04	1,30,E-04	2,93,E-04	1,30,E-04	12,2	2,919485	0,000811	4,3	1,032	0,000286667
97	28,44444	71,11111	1	1,580247	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	2,97,E-04	1,27,E-04	85,1	4,307922	0,001197	12,48395	0,632	0,000175556
98	18	45	1	1	2,93,E-04	1,30,E-04	2,93,E-04	1,30,E-04	2,93,E-04	1,30,E-04	48,0	3,842259	0,001067	7,9	0,632	0,000175556
101	300	750	1	30	1,56,E-04	1,91,E-05	1,56,E-04	1,91,E-05	1,56,E-04	1,91,E-05	1617,4	7,763344	0,002156	294	1,4112	0,000392
102	300	750	1	21,42857	1,56,E-04	1,91,E-05	1,56,E-04	1,91,E-05	1,56,E-04	1,91,E-05	1617,4	7,763344	0,002156	261,4286	1,254857	0,000348571
103	2500	15625	1	166,6667	1,56,E-04	1,86,E-05	1,56,E-04	1,86,E-05	1,56,E-04	1,86,E-05	22899,8	5,276106	0,001466	1383,333	0,31872	8,85333E-05

Tabla N°5: Resultados o variables de salida.

Resultados o variables de salidas:
Razón volumétrica de gotas exhaladas por aire exhalado [-]
Tasa de deposición en el tracto respiratorio [/s]
Tasa de dilución total [/s]
Constante de tiempo (tiempo de residencia) [s]
Tasa de emisión del virus por el infectado [virus/s]
Número de viriones al alcanzar estabilidad [virus]
Concentración del virus al alcanzar la estabilidad [virus/m3]
Tiempo en el que se alcanza 95% del número de estado estable [hh:mm:ss]
Número de copias inhaladas de ARN (P _{2,5} ; P ₂₅ ; P ₅₀ ; P ₇₅ ; P _{97,5})

*Ver anexo 1 para el resto de las sub-tipologías.

3.2.9. Resultados del análisis comparativo

Se obtuvo el estudio comparativo de la probabilidad de riesgo de infección en diversos entornos de trabajo en Chile en comparación con un edificio de referencia o base, la oficina por departamento. Para esto, se trabajó con el listado de recintos de trabajo a analizar. Se logró obtener resultados preliminares para el escenario A de las 33 tipologías definidas, tanto en copias totales de ARN inhalado como en el indicador IER, y bajo régimen de ventilación natural como ventilación mecánica¹².

Se refinó la información respecto a las propiedades físicas de diseño y se realizó un análisis detallado sobre los resultados obtenidos. Dicho análisis da como resultado la modificación de algunos valores de entrada correspondientes a ventilación natural, ventilación mecánica, proporción de ventanas y porcentaje de apertura de las ventanas de los recintos. Los cambios realizados se detallan a continuación:

Apertura de Ventanas : se estableció un valor uniforme para todas las tipologías y respectivas sub-tipologías la condición de contar con un 50% de apertura, correspondiente a la apertura total de ventanas tipo correderas.

Ventilación Natural : el valor del caudal de ventilación respectivo a cada sub-tipología se obtuvo de una relación entre el proporción y porcentaje de apertura de ventanas, y superficie en metros cuadrados de la superficie. El dato anterior resulta en litros por segundo y fue convertido a una tasa de cambios de aire por hora según el volumen de la sub-tipología.

Ventilación Mecánica : se aclara que para cada tipología se asignó una categoría de ocupación representativa, la que fue igual para todas las *sub-tipologías*. Lo anterior tiene dos excepciones: en Establecimientos Educacionales se contemplaron 2 sub-tipologías (Salones de clase - edad 5 a 8 años; y Aula Multiuso), al igual que en Centros Comerciales (Ventas y Supermercado). Los recintos escogidos se presentan en la tabla N° 2.

Esto impactó en la determinación de la ventilación mecánica, ya que esta resulta de la suma de dos factores: el caudal producto de la superficie del recinto, y el caudal producto del número total de ocupantes. Con lo anterior se logró considerar dos factores relevantes al momento de evaluar la posibilidad de contagios, según ocupantes y el volumen de aire del recinto.

Resultados de las simulaciones (Escenario A, más desfavorable)

Se realizó un total de 33x2x4 modelaciones; las 33 sub-tipologías, bajo 2 condiciones de ventilación (natural y mecánica), los 4 escenarios de exposición, y sin uso de mascarilla para asumir las peores condiciones. Cabe destacar que este último parámetro solo afectará al número de copias de ARN inhalados y exhalados, no la métrica IER usada para el estudio comparativo. A continuación, se muestran los resultados ordenados por número total de viriones inhalados, Σn . Para fines comparativos, y dado que los resultados no tienen una distribución normal, se selecciona la mediana P_{50} como métrica.

¹² *Ventilación natural* se entiende como el proceso de intercambio de aire interior-exterior debido a infiltraciones de aire, deseadas e indeseadas, que se dan principalmente a través de puertas, ventanas, y grietas y fisuras. En cambio, en un recinto con *ventilación mecánica*, las renovaciones del aire se realizan a través de un ventilador.

Tabla N°6: Resultados de Simulaciones. La intensidad de color rojo indica la concentración de copias de ARN inhaladas P₅₀.

TIPOLOGÍA	NOMBRE TIPOLOGÍA	SUB-TIPOLOGÍA	NOMBRE SUBTIPOLOGÍA	P ₅₀ Ventilación natural Métrica: Σn	P ₅₀ Ventilación Mecánica Métrica: Σn
1	Oficina	1.1	Planta libre	32	20
2	Oficina	1.2 ¹³	Departamento	304	192
2	Container	2.1	NA	5955	1526
3	Call center	3.1	NA	26	12
4	Gimnasio	4.1	NA	139	39
5	Restaurante	5.1	NA	316	30
6	Establecimientos educacionales	6.1	Parvulario	110	16
6	Establecimientos educacionales	6.2	General básico	129	18
6	Establecimientos educacionales	6.3	Medio	129	18
6	Establecimientos educacionales	6.4	Básico especial	130	18
6	Establecimientos educacionales	6.5	Superior	103	16
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.1	Hospital	208	74
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.2	Clínica	201	70
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.3	Consultorio	6505	701
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.4	Postas	219	42
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.5	Centro de diagnóstico	4736	520
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.6	Centro de especialidad	4634	509
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.7	Centro de referencia	4811	520
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.8	Sala de hospitalización común	237	220
8	Teatros y otros locales de reuniones	8.1	Teatro	79	17
8	Teatros y otros locales de reuniones	8.2	Auditorio	65	14
8	Teatros y otros locales de reuniones	8.3	Salas de exhibiciones (cine)	58	13
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.1	Hotel	4066	1870
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.2	Motel	2054	1139
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.3	Apart-hotel	2009	1105
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.4	Residencial	4144	1994
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.5	Pensión	4180	2029
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.6	Hogar de ancianos o niños	12614	2199
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.7	Hospedería	2019	1102
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.8	Casa de acogida	3382	1692
10	Centro Comerciales	10.1	Centro comercial abierto	35	22
10	Centro Comerciales	10.2	Centro comercial cerrado	34	28
10	Centro Comerciales	10.3	Supermercado	2	2

*Ver anexo 2 para otros percentiles de los resultados

Para calcular el Índice de Exposición Relativa, IER, se estableció como recinto de referencia la Oficina de departamento (IER=1). La siguiente tabla muestra los recintos ordenados por su IER (usando la mediana).

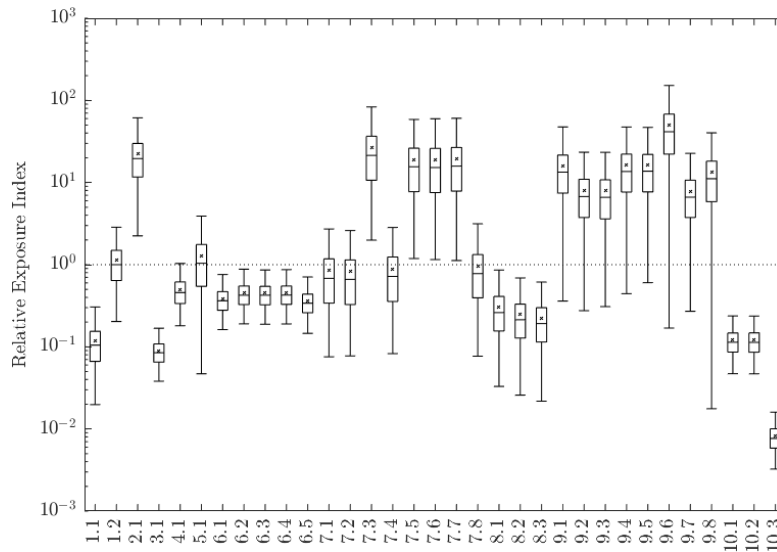
¹³ Edificio de referencia

Tabla N°7: Recintos ordenados por su IER desde el más desfavorable al menos desfavorable en comparación con el recinto de oficina por departamento (IER=1).

TIPOLOGÍA	NOMBRE TIPOLOGÍA	SUBTIPOLOGÍA	NOMBRE SUBTIPOLOGÍA	IER Vent Natural	IER Vent Mecánica
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.6	Hogar de ancianos o niños	41,48	12,08
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.3	Consultorio	21,39	4,00
2	Container	2.1	NA	19,58	8,30
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.7	Centro de referencia	15,82	2,91
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.5	Centro de diagnóstico	15,57	2,86
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.6	Centro de especialidad	15,24	2,91
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.5	Pensión	13,75	10,43
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.4	Residencial	13,63	10,29
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.1	Hotel	13,37	9,78
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.8	Casa de acogida	11,12	8,62
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.2	Motel	6,76	5,77
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.7	Hospedería	6,64	5,65
9	Hoteles, residenciales, hogares y hospederías	9.3	Apart-hotel	6,61	5,73
5	Restaurante	5.1	NA	1,04	0,17
2	Oficina	1.2	Departamento	1,00	1,00
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.8	Sala de hospitalización común	0,78	1,21
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.4	Postas	0,72	0,23
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.1	Hospital	0,68	0,40
7	Edificios de asistencia hospitalaria	7.2	Clínica	0,66	0,39
4	Gimnasio	4.1	NA	0,46	0,22
6	Establecimientos educacionales	6.4	Básico especial	0,43	0,10
6	Establecimientos educacionales	6.2	General básico	0,43	0,10
6	Establecimientos educacionales	6.3	Medio	0,42	0,10
6	Establecimientos educacionales	6.1	Parvulario	0,36	0,09
6	Establecimientos educacionales	6.5	Superior	0,34	0,09
8	Teatros y otros locales de reuniones	8.1	Teatro	0,26	0,09
8	Teatros y otros locales de reuniones	8.2	Auditorio	0,21	0,08
8	Teatros y otros locales de reuniones	8.3	Salas de exhibiciones (cine)	0,19	0,07
10	Centro Comerciales	10.1	Centro comercial abierto	0,11	0,12
10	Centro Comerciales	10.2	Centro comercial cerrado	0,11	0,14
1	Oficina	1.1	Planta libre	0,10	0,11
3	Call center	3.1	NA	0,08	0,07
10	Centro Comerciales	10.3	Supermercado	0,01	0,01

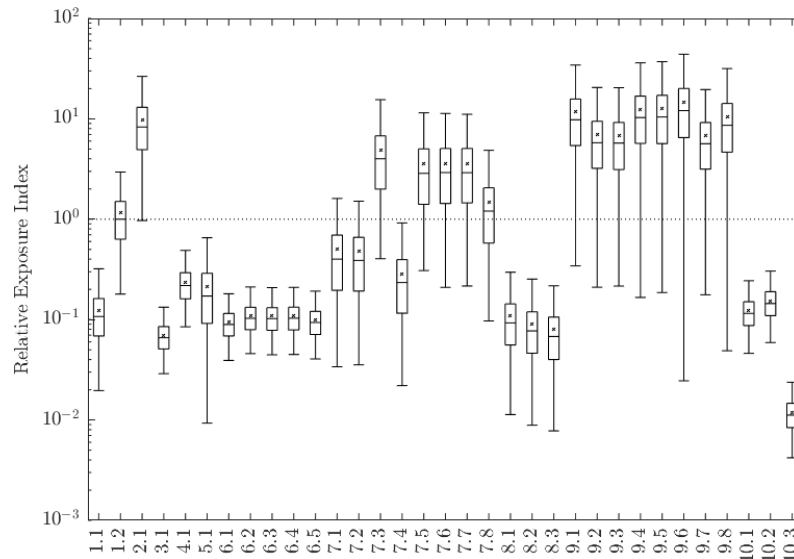
Variabilidad (cuartiles) de los resultados de las simulaciones aplicando supuestos de ventilación natural:

Figura 5: Índice de exposición relativo para cada sub-tipología de recinto de trabajo, bajo el escenario de exposición A y ventilación natural. Caja: cuartiles 25%, 50% y 75%; x: media; bigotes: valor mínimo y máximo. La *oficina por departamento*, sub-tipología 1.2., es el edificio base, por lo que su mediana y línea punteada se ubica en IER=1.



Variabilidad (cuartiles) de los resultados de las simulaciones aplicando supuestos de ventilación mecánica:

Figura 6: Índice de exposición relativo por sub-tipología de recinto de trabajo, bajo el escenario de exposición A y ventilación mecánica. Caja: cuartiles 25%, 50% y 75%; x: media; bigotes: valor mínimo y máximo. La *oficina por departamento*, sub-tipología 1.2., es nuestro edificio base, por lo que su mediana y línea punteada se ubica en IER=1. Ver tabla 3 para las sub-tipologías.



3.2.10. Recomendaciones de buenas prácticas:

Se consulta a un experto en climatización de edificios en relación a estrategias de mitigación y control sugeridas por la comunidad científica y sobre la factibilidad de un aumento de caudal de aire fresco en recintos ya en operación. Dentro de las recomendaciones entregadas se rescata lo siguiente:

El aumento en el caudal del sistema de renovación de aire para un proyecto de aire acondicionado requiere la evaluación de un experto para dimensionar el impacto en el funcionamiento del sistema. Para evaluar los potenciales efectos, se parte bajo el caso hipotético de que el sistema de renovación de aire fresco de un proyecto de aire acondicionado se calculó bajo el estándar de la ASHRAE 62.1 (6 litros/segundo/persona) y que los caudales efectivos que ingresan a los equipos concuerdan con lo indicado por diseño mediante un correcto balanceo realizado por el instalador. Luego, si se desea aumentar el caudal de acuerdo con el nuevo estándar debido a la pandemia de 20 a 25 litros/segundo/persona, se deben evaluar cuatro puntos esenciales del proyecto.

- El **filtro de aire** fresco probablemente deberá ser cambiado. Esto se debe a que los filtros están calculados para un caudal específico que implica una pérdida de presión para el sistema. Si el caudal aumenta, esta pérdida de presión aumentará y el ventilador existente probablemente no será capaz de superar esta pérdida de carga, desbalanceando el sistema. En este caso, se debe buscar un filtro de aire con mayor capacidad de caudal para que con el nuevo caudal no se genere una pérdida de presión tan elevada, e implique un desbalance menor para el sistema.
- La pérdida de **carga de los ductos** del sistema se incrementará. Esto se debe a que el área transversal de los ductos se mantendrá constante, pero al incrementar el caudal, implicará el aumento de velocidad de fluido y por lo tanto una pérdida de presión mayor. Esto requiere que el experto evalúe nuevamente cuál será la nueva pérdida de presión del sistema con el nuevo caudal, considerando el tramo donde se encuentre la mayor pérdida de carga. Es importante mencionar que a pesar de que en la teoría es posible tener velocidades altas para los fluidos en los ductos, en la práctica no se recomienda superar los 10 m/s para evitar el ruido molesto para los ocupantes.
- Se requiere evaluar cómo el nuevo caudal y la nueva pérdida de presión interactúan con la **curva de funcionamiento del ventilador**. Los ventiladores son seleccionados durante la etapa de diseño en base a la pérdida de carga y caudal del sistema. Si estas dos variables cambian, es necesario saber si el ventilador será capaz de superar la nueva pérdida de carga y entregar el caudal requerido. Se deberá evaluar caso a caso y podría inclusive requerir el cambio del ventilador existente por otro que cumpla con los requisitos del sistema con un nuevo caudal. Sin embargo, el cambio de ventilador podría no ser algo sencillo. Esto se debe por un lado a la logística propia que implica llevar un equipo de grandes dimensiones la techumbre de un edificio, que es donde se encuentran normalmente. Por otro lado, la potencia eléctrica disponible para el nuevo ventilador puede no resultar suficiente.
- Los equipos de aire acondicionados podrían ver afectado su capacidad de alcanzar la **temperatura ambiente** deseada. Esto se debe a que las unidades de aire acondicionado interior son calculadas en base a la carga térmica del ambiente. Parte de esta carga térmica está definida en base al caudal de aire exterior. Si este caudal exterior aumenta, el equipo podría eventualmente verse superado con la nueva carga térmica y por lo tanto afectar su rendimiento para alcanzar la temperatura deseada del ambiente. En la teoría, es posible realizar cambio de estos equipos por otros de mayores potencias para cumplir con las nuevas cargas térmicas. Sin embargo, existen razones constructivas y económicas que lo hacen inviables desde un punto de vista práctico. Esto se debe a que las unidades de aire interior normalmente se encuentran instaladas en zonas de difícil acceso para su cambio, y además se debería evaluar todo el sistema de aire acondicionado, incluyendo tramos de cañerías y potencia de unidades exteriores. Por lo tanto, las unidades de aire interior podrían ver afectado su efectividad y en la práctica resulta poco viable cambiar estas unidades.

Finalmente, es importante mencionar que todo el proceso de revisión del sistema de aire fresco con un nuevo caudal debe ser realizado por un experto que tenga estas variables en consideración y que realice los cálculos correspondientes para obtener un sistema que funcione correctamente.

Resultado 2: Herramienta analítica

El modelo analítico utilizado para predecir el número de copias de ARN inhalados fue implementado en una hoja de cálculo de formato Excel, .xls, y manipulado usando el software R¹⁴. Como producto resultado se elaboró una herramienta interactiva en donde es posible ingresar los valores de entrada a evaluar con el modelo, y se obtienen los resultados tanto absolutos como relativos a un recinto de referencia, o REI. En esta herramienta se encuentran diferenciadas las variables de entrada relacionadas con el recinto y sus ocupantes, y las posibles de modificar de las que se establecen por defecto. Estos últimos valores son actualizables en caso de requerirse según el avance científico, resultando en una versión 2 o subsiguiente. Actualmente la herramienta en formato .xlsb se encuentra en su segunda versión.

Se trabajó en el desarrollo de una herramienta de cálculo en formato .xlsb de MS Excel, que permitió utilizar menos recursos computacionales que la versión original, sin pérdida de funcionalidad.

Esta actividad incluyó el diseño, construcción y realización de pruebas del archivo Excel con las nuevas vistas, formularios y salidas.

La figura 7 presenta la hoja inicial. Esta presenta los valores del escenario de referencia, por defecto, pero son reemplazados por los datos ingresados. A partir de esta se pudo acceder a los registros de los inputs, contra los que se hicieron las comparaciones de riesgo y calculó el índice REI, revisión de los valores de referencia (ver figura 10), revisar los resultados de las simulaciones (ver figura 12), revisar los resultados de los indicadores (ver figura 13).

Figura 7: Formulario de inicio.

Variable	distribution	mu_min_const	sigma_max	units	notes
Scenario type	step	NaN	NaN	-	
Floor area	A_floor constant	300		m ²	
Room volume	V constant	750	2.5	m ³	
Number of infected individuals	N_inf constant	1		-	
Total number of occupants	N constant	32		-	
Exposure time	T constant	25,200	3,600 7	s	Exposure time s, 7hr from BB101
Time infected person occupied the space	T_I constant	25,200	3,600 7	s	
Time since infected person left the space	T_D constant	0		s	Independent decay time.
lung deposition fraction k	k uniform	0.43	0.65	-	
Susceptible ventilation rate q _s	q_sus normal	0.00012133	0.00001213	0.1 m ³ /s	Child sitting from Adams1993
Infected ventilation rate q _v	q_inf normal	0.00012133	0.00001213	0.1 m ³ /s	Child sitting from Adams1993
Mean occupant ventilation rate	q_bar normal	0.00012133	0.00001213	0.1 m ³ /s	Child sitting from Adams1993
Concentration of aerosols in exhaled air C _{drop}	C_drop normal	154,000	15,400	0.1 droplets/m ³	derived from morawska et al 2009 for breathing 75% talking 25%
Droplet Diameter	normal	0.00000184	0.00000018	0.1 m	derived from morawska et al 2009 for breathing 75% talking 25%
Air change rate	ψ constant	0.000533		/s	
Biological decay rate	λ lognormal	0.000175	0.43	/s	
Surface deposition rate	Y uniform	0.000117	0.000125	/s	
Concentration of viruses in exhaled drople C _{RNA}	normal	3.75E+17	3.75E+16	0.1 virus/m ³	
Dose constant	K constant	410	410		
Proportion of virions	- uniform	0.01	0.1		

Escenario: SIM06 valor Valor modificable en el Formulario.

[< Abrir Formulario >](#)
[Registro Inputs >](#)
[Ir a Referencia >](#)
[Ir a Cálculos >](#)
[Ir a Resultados >](#)
[Registro Resultados >](#)

Al hacer click en “Abrir formulario” se despliega el Formulario de ingreso de datos; ver figura 8.

¹⁴ R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria}, 2021, <https://www.R-project.org>

Figura 8: Formulario de ingreso de datos del recinto a evaluar. En gris se pueden observar los valores que se mantienen fijos, y en celeste los que son modificados por el usuario. A partir de esta hoja es posible acceder a la hoja de cálculo, a los valores usados como escenario de referencia, y los resultados.

Formulario de Ingreso de datos - Plantilla COVID

INGRESO DE VALORES PARA LA SIMULACIÓN

Navegar Hojas: Cálculos > Referencia > Resultados >

Variable	distribution	mu_min_const	sigma_max & units	notes
Scenario type	step	NaN	NaN -	
Floor area - A_floor	constant	300	m ²	
Room volume - V	constant	750 2.5	m ³	
Number of infected individuals - N_inf	constant	1	-	
Total number of occupants - N	constant	32	-	
Exposure time - T	constant	25200 3600	s	Exposure time s, 7hr from 88101
Time infected person occupied the space - T_I	constant	25200 3600	s	
Time since infected person left the space - T_D	constant	0	s	Independent decay time.
lung deposition fraction k - k	uniform	0.43	0.65 -	
Susceptible ventilation rate qs - q_sus	normal	1.21333333333333E-04	1.21333333333333E-05	Child sitting from Adams1993
Infected ventilation rate qv - q_inf	normal	1.21333333333333E-04	1.21333333333333E-05	Child sitting from Adams1993
Mean occupant ventilation rate - q_bar	normal	1.21333333333333E-04	1.21333333333333E-05	Child sitting from Adams1993
Concentration of aerosols in exhaled air - C_drop	normal	154000	15400 droplets/m ³	derived from morawska et al 2009 for breathing 75% talking 25%
Droplet Diameter	normal	1.84294721413922E-06	1.84294721413922E-07	derived from morawska et al 2009 for breathing 75% talking 25%
Air change rate - ψ	constant	5.33333333333333	/s	
Biological decay rate - λ	lognormal	0.000175	0.43 /s	
Surface deposition rate - Y	uniform	1.16666666666667E-04	0.000125 /s	
Concentration of viruses in exhaled droplets - C_RNA	normal	3.75E+17	3.75E+16 virus/m ³	
Dose constant - K	constant	410	410	
Proportion of virions	uniform	0.01	0.1	

Valores modificables.

Formulario y código VBA por Eduardo Lobos elobos@fen.uchile.cl

Luego de ingresado los datos, es posible revisar los valores del edificio de referencia y los resultados de los cálculos:

Figura 9: Resultado de simulaciones:

Scenario type: step

Process: Actualizar Cálculos del Libro

From y Desvent	Floor area	Room volume	Number of infected individuals	Total number of occupants	Exposure time	Time infected person occupied the space	Time since infected person left the space	lung deposition fraction k	Susceptible ventilation rate qs	Infected ventilation rate qv	Mean occupant ventilation rate	Concentration of aerosols in exhaled air	Droplet Diameter	Air change rate
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.4474784	1.13E-04	1.24E-04	1.13E-04	1.42E-05	1.84E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.6443439	1.09E-04	1.29E-04	1.22E-04	1.52E-05	1.83E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.458621098	1.07E-04	1.24E-04	1.18E-04	1.50E-05	1.82E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.413504807	1.18E-04	1.29E-04	1.01E-04	1.53E-05	1.93E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.546059534	1.32E-04	1.14E-04	1.02E-04	1.64E-05	1.93E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.528619047	1.27E-04	1.24E-04	1.24E-04	1.53E-05	1.72E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.527815339	1.16E-04	1.43E-05	1.28E-04	1.69E-05	1.91E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.439880333	1.17E-04	1.28E-04	1.28E-04	1.65E-05	2.04E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.579778981	1.33E-04	1.22E-04	1.15E-04	1.46E-05	1.79E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.516428644	1.29E-04	1.17E-04	1.28E-04	1.53E-05	1.82E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.587356777	1.23E-04	1.32E-04	1.07E-04	1.71E-05	1.97E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.596523072	1.18E-04	1.33E-04	1.13E-04	1.48E-05	1.66E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.638583293	1.18E-04	1.08E-04	1.12E-04	1.79E-05	2.01E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.504093116	1.42E-05	1.34E-04	1.37E-04	1.56E-05	2.28E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.525126578	1.23E-04	1.44E-04	1.16E-04	1.42E-05	1.87E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.502340905	1.18E-04	1.23E-04	1.18E-04	1.63E-05	2.03E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.640259227	1.07E-04	1.12E-04	1.12E-04	1.46E-05	1.79E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.567229318	1.02E-04	1.37E-04	1.17E-04	1.74E-05	1.82E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.571058952	1.26E-04	1.20E-04	1.09E-04	1.51E-05	2.12E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.502080479	1.14E-04	1.29E-04	1.30E-04	1.64E-05	2.03E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.493412583	1.27E-04	1.23E-04	1.29E-04	1.54E-05	1.70E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.468017489	1.41E-04	1.17E-04	1.46E-04	1.63E-05	1.83E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.579410561	1.08E-05	1.32E-04	1.09E-04	1.59E-05	1.95E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.491588807	1.26E-04	1.03E-04	1.28E-04	1.42E-05	2.18E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.446739884	1.07E-04	1.24E-04	1.42E-04	1.31E-05	1.72E-06	5.33E-04
300	750	1	1	32	25200	25200	0.00	0.440014802	1.30E-04	1.13E-04	1.13E-04	1.66E-05	2.18E-06	5.33E-04

Figura 10: Resultado de los indicadores y estadísticas:

		< Ir a Registro		< Ir a Referencia		< Ir a Cálculos		< Abrir Formulario >		Registro Resultados >	
Valores de Referencia			SIM01		SIM06		d SIM01 - SIM06	d Ref - SIM01	d Ref - SIM06		
2.5	83.6	41.5%	19.3	41%	38.5	0.4	99.55%	-76.93%	-53.96%		
25	153.5	76.2%	35.7	77%	70.4	0.8	97.48%	-76.76%	-54.11%		
50	201.4	100.0%	46.6	100%	91.5	1.0	96.34%	-76.86%	-54.57%		
75	260.0	129.1%	60.0	129%	117.7	1.3	96.15%	-76.92%	-54.74%		
97.5	413.7	205.4%	96.5	207%	185.4	2.0	92.12%	-76.67%	-55.19%		
μ	206.6	102.6%	49.3	1.1	96.9	1.1	96.58%	-76.14%	-53.10%		
σ	81.22	40.32%	19.57	42.00%	37.84	41.35%	93.30%	-75.90%	-53.41%		
CoV	39.32%		39.42%	39.7%	39.06%	39.1%	-0.91%	0.25%	-0.67%		
Vol. Habitación	148.5		1110		562.5		-49.32%	647.47%	278.79%		
Ratio cambio aire	0.001077441		0.000533333		0.000533333		0.00%	-50.50%	-50.50%		

Figura 11: Registro de indicadores por simulación:

		< Ir a Input		< Ir a Registro Inputs		< Ir a Referencia		<	
		Metric	Value	timestamp	ScenarioNickname				
		2.5	19.28715729	08-06-2021 8:15	SIM01				
		25	35.67111591	08-06-2021 8:15	SIM01				
		50	46.60953297	08-06-2021 8:15	SIM01				
		75	60.00350623	08-06-2021 8:15	SIM01				
		97.5	96.50597903	08-06-2021 8:15	SIM01				
		μ	49.28322068	08-06-2021 8:15	SIM01				
		σ	19.57437486	08-06-2021 8:15	SIM01				
		CoV	0.39415455	08-06-2021 8:15	SIM01				
		2.5	26.08310623	08-06-2021 8:17	SIM02				

Manual de uso: documento que describe las variables (glosario de 30 términos utilizados en el modelamiento), cómo obtener esa información, y cómo realizar las simulaciones.

<p style="text-align: center;">VIRUS-VENT</p> <hr/> <p style="text-align: center;">MANUAL DE USUARIO</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p style="font-size: small; text-align: center;"> ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA UNITED KINGDOM · CHINA · MALAYSIA Instituto de Seguridad Laboral </p>	<p style="text-align: right;">► Índice</p> <p>Virus-Vent _____ 3</p> <p>¿Qué es? _____ 3</p> <p>Simulación del recinto _____ 4</p> <p>Comparación de resultados _____ 5</p> <p>Tabla de variables _____ 6</p> <p>Glosario _____ 7</p> <p style="text-align: right;">2</p>
<p style="text-align: right;">► Glosario</p> <p>CRNA (virus/m³): Concentración de virus en las gotas exhaladas Razón entre la cantidad de virus contenidas en un metro cúbico de aire exhalado.</p>  <p style="text-align: center;">8</p>	<p>El Proyecto DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE INFECCIÓN RELATIVO A SARS-CoV-2 EN RECINTOS DE TRABAJO – ESTUDIO DE MODELAMIENTO fue seleccionado en la Convocatoria de Estudios de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales (2020) de la Superintendencia de Seguridad Social (Suseso); y financiado por el Instituto de Seguridad Laboral con recursos del Seguro Social contra riesgos de Accidentes y Enfermedades Profesionales, Ley N°16.744.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p style="font-size: small; text-align: center;"> ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA UNITED KINGDOM · CHINA · MALAYSIA Instituto de Seguridad Laboral </p>

Resultado 3: Transferencia de Resultados

Manuscrito titulado “Riesgo de transmisión del SARS-CoV-2 a distancias mayores de 2 metros - ¡El volumen sí importa!” se adjunta a este informe. Esta publicación ilustra una de las grandes conclusiones del estudio, relacionado a la naturaleza del patógeno, el diseño de los espacios y su ventilación. Se encuentra en proceso de publicación en plataforma web CEDEUS para transferir parte de los resultados y aprendizajes a la comunidad científica.

4. Conclusiones

- a) Sobre el problema: Durante los 12 meses de proyecto se le hizo un intenso seguimiento a la literatura científica relacionado con el comportamiento del virus en espacios cerrados, mecanismos de mitigación y formas de control. El modelo no requirió grandes modificaciones para trabajar con las nuevas variantes, ya que los indicadores de riesgo relativo cancelan estas variables de entrada y se realiza la comparación en función a un recinto base. Se le incorpora el uso de mascarillas como variable, tanto personas vulnerables como infectados.
- b) Sobre el modelamiento: Las actividades se centraron en la adaptación y creación de la herramienta de modelamiento a partir del modelo de estimación de riesgo relativo. Se optimizó y aumentaron las funcionalidades de la herramienta y de la plataforma que almacenará los datos de entrada que los usuarios ingresen y resultados. Además, se le incluyeron los 4 escenarios de riesgo y el uso o no de mascarillas.
- c) Sobre la ventilación y el costo-beneficio: Se recomienda en aumentar las tasas de ventilación en espacios con ventilación insuficiente en lugar de aumentar las tasas de ventilación en espacios que ya están bien ventilados o aumentar las tasas de ventilación efectiva utilizando filtros de aire ya que la probabilidad de infección y la tasa de ventilación están inversamente relacionadas. Se debe tener en cuenta los costos de mano de obra y materiales, y los cambios inadvertidos en el sistema y la estrategia de ventilación.
- d) Sobre los aforos: El número de ocupantes en un espacio (aforo) puede influir en el riesgo de transmisión aérea a distancias mayores a 2 m porque la probabilidad de tener personas infecciosas y susceptibles aumenta con el número de ocupantes. Por lo tanto, podría ser beneficioso subdividir un gran espacio en varios espacios más pequeños para reducir el riesgo de transmisión. En estos casos, el recinto mayor, para las mismas circunstancias, resulta en un índice de exposición relativa (IER) con un valor de 10 en comparación con el menor recinto. Sin embargo, este REI es una medida del riesgo de un espacio en relación con la geometría, las actividades de los ocupantes y los tiempos de exposición en comparación con el escenario de referencia, por lo que no es una medida de la probabilidad de infección. En consecuencia, al suponer que una sola persona infectada está presente en los recintos, el espacio de mayor volumen es un espacio de menor riesgo para las personas susceptibles porque la tasa de ventilación equivalente por persona es más alta. Este supuesto es claramente problemática porque, para una tasa de infección en la población del 1%, lo más probable es tener cero infectados. La probabilidad de que ocurra un evento de transmisión aumenta con el número de ocupantes y la tasa de infección de la comunidad. Entonces, los recintos más grandes tienen más probabilidades de tener presentes personas infectadas que los pequeños.
- e) Sobre la carga viral: Este estudio no considera la incertidumbre en factores que varían en la población, como la carga viral de una persona infectada, definida como la cantidad de copias de ARN por ml de líquido respiratorio. Se conoce que la carga viral varía con el tiempo y entre personas en cualquier etapa de la infección. Esto hace que sea difícil distinguir epidemiológicamente la vía y momento de transmisión.
- f) Fracción viable: Se desconoce la fracción viable real para este virus, pero se eligió el valor 1 (más conservador) para facilitar el cálculo; las dosis estimadas (entregadas en la sección 3.2.9) son en su mayoría pequeñas a pesar de esto. Por el contrario, cuando la carga viral es muy alta, es probable que un cambio en el volumen o caudal de aire no tenga un gran efecto en la probabilidad de transmisión.

Es posible realizar cambios en la forma de uso de los edificios y su equipamiento y este proyecto puede ayudar en la toma de decisiones. Por ejemplo, evaluar una reducción en la densidad de ocupación (aforos) por debajo del diseño manteniendo y controlando las tasas de ventilación, o reducir los tiempos de exposición. Todo esto reducirá el riesgo de transmisión por aerosoles en los edificios.