



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

**CREACIÓN Y DESTRUCCIÓN DE EMPLEO EN EL MERCADO LABORAL
EN PANDEMIA**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN ECONOMÍA APLICADA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

FELIPE IGNACIO RODRÍGUEZ MADARIAGA

PROFESOR GUÍA:

JUAN ESCOBAR CASTRO

PROFESOR CO-GUÍA:

BENJAMÍN VILLENA ROLDÁN

COMISIÓN:

PABLO MUÑOZ HENRÍQUEZ

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por Fondecyt regular 1191888 etapa 2021

SANTIAGO DE CHILE

2022

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR
AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN ECONOMÍA APLICADA
POR: FELIPE IGNACIO RODRÍGUEZ MADARIAGA
FECHA: 2022
PROF. GUÍA: JUAN ESCOBAR
PROF. CO-GUÍA: BENJAMÍN VILLENA

CREACIÓN Y DESTRUCCIÓN DE EMPLEO EN EL MERCADO LABORAL EN PANDEMIA

En la presente tesis interactúa un modelo DMP del mercado laboral con una adaptación en tiempo discreto de un modelo SEIR generalizado, incorporando heterogeneidad etárea. Se muestra, utilizando un criterio de separación y contratación endógeno, que ante el alza de contagios se produce un aumento de los “estándares de contratación” y los “estándares de no separación”. Esto causa una pérdida de eficiencia del mercado laboral que permite explicar la gran destrucción de empleos y la baja en la creación de los mismos, durante la pandemia.

El mayor riesgo que poseen los empleados con respecto a los desempleados, de infectarse y de fallecer a causa de la enfermedad, son cruciales para explicar la respuesta del mercado laboral.

El modelo se ajusta bien a la dinámica de la infección mostrada en Chile durante la primera ola, a la vez, es capaz de replicar muy de cerca la respuesta del mercado laboral en este mismo periodo. En el *peak* pandémico, según el modelo antes expuesto, se perdieron dos millones de empleos, los trabajadores susceptibles mostraron un alza de 35 % en el salario de reserva, el salario promedio de la economía aumentó en 1,5 % y se produjo una pérdida de 9,8 % en el producto agregado anual.

A mis padres.

Felipe Rodríguez

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a quienes me han apoyado en este largo camino que está concluyendo, muy especialmente a mis padres.

Agradezco al profesor Benjamín Villena, por su guía constante para realizar este trabajo, y a los profesores Juan Escobar y Pablo Muñoz, por su buena disposición a evaluar este trabajo y a facilitar el término de este proceso.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MODELO	4
2.1. Ambiente	4
2.2. Mercado laboral	6
2.3. Transiciones entre estados	7
2.4. Dinámica de la Infección	10
2.5. Condiciones iniciales	11
3. EQUILIBRIO	12
3.1. Fase Recuperado	13
3.2. Fase Infectado	14
3.3. Fase Susceptible	15
4. CALIBRACIÓN	19
5. RESULTADOS	24
5.1. Equilibrio	24
5.2. Dinámica del mercado laboral	27
5.3. Producto agregado	35
5.4. Dinámica de la infección	36
6. ANÁLISIS Y ROBUSTEZ	39
6.1. Modelo sin heterogeneidad etárea	39
6.2. Variación del costo relativo de infección	40
6.3. Robustez en la elección de parámetros epidemiológicos	43
7. CONCLUSIONES	46
Bibliografía	48
Anexos	51
A. Primera ola COVID-19 en Chile y respuesta del mercado laboral.	51

B.	Dinámica poblacional y del mercado laboral	55
C.	Funciones de utilidad para los estados del modelo	61
D.	Notas sobre el equilibrio	67
E.	Notas sobre los resultados	71
F.	Nota metodológica	76

Índice de Tablas

4.1.	Resultado de calibración	23
5.1.	Evolución Desempleo	32
5.2.	Variación del PIB	36
5.3.	Evolución de la infección	37
6.1.	Variación de parámetros	43
6.2.	Elección de parámetros epidemiológicos	45

Índice de Ilustraciones

5.1.	Equilibrio del modelo	25
5.2.	Productividad de reserva y estrechez de mercado	28
5.3.	Probabilidades de transición en el mercado laboral.	31
5.4.	Tasa de desempleo y fuerza laboral.	32
5.5.	Salario.	34
5.6.	Caída en el producto agregado	35
5.7.	Recuperados, fallecidos e infectados activos por edad.	36
5.8.	Número de reproducción efectivo y probabilidades de infección.	38
6.1.	Tasa de desempleo. Aumento en el pago de licencia médica.	40
6.2.	Tasa de desempleo. Aumento en la diferencia entre tasas de infección.	42
A.1.	Fuerza de trabajo y tasa de desempleo. Primera ola COVID-19	51
A.2.	Avisos y vacantes ofrecidas. Primera ola COVID-19	52
A.3.	Aumento de requerimientos. Primera ola COVID-19	52
A.4.	Salarios durante la primera ola COVID-19	53
A.5.	Evolución infección. Primera ola COVID-19	54
E.1.	Descomposición de la variación del excedente en susceptibles.	72
E.2.	Comparación del efecto probabilidad de infección en excedente susceptibles. . .	72
E.3.	Descomposición de la variación de la estrechez de mercado.	73
E.4.	Descomposición de la variación de la productividad de reserva.	74
E.5.	Evolución de la masa de vacantes.	74
E.6.	Descomposición de la variación del salario promedio de susceptibles.	75
E.7.	Número de producción básico y parámetro de protección.	76

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Durante poco más de dos años, Chile vivió cinco olas de contagios por el virus SARS-COV-2 y se encuentra actualmente en una situación de endemia. Hasta el término de octubre de 2022, se registraron 4 760 186 casos totales y 61 677 fallecidos (MinCiencia, 2020). De estas cinco olas, fueron la primera y la tercera las que peores repercusiones causaron a la sociedad y la economía, las cuales tuvieron lugar entre marzo y agosto de 2020 y 2021 respectivamente.

Durante la primera ola, según datos del INE¹, la pandemia causó una fuerte disminución en la cantidad de ocupados a nivel nacional y en el tamaño de la fuerza de trabajo, junto con un fuerte aumento en la cantidad de inactivos (ver anexo A.1, figura A.1). Entre marzo de 2020 y el *peak* de la primera ola, en julio de 2020, la cantidad de ocupados pasó de nueve a siete millones, lo que implicó la pérdida de dos millones de empleos, mientras que la fuerza de trabajo cayó desde 9,8 a 8,1 millones. El desempleo aumentó desde 7,8 % a 13,1 % en igual periodo. Villena-Roldán (2020) también describe los efectos en el mercado laboral, quien a través de un análisis de bolsas de empleo chilenas, destaca una notoria caída en los avisos y vacantes ofrecidas por empresas (ver anexo A.1, figura A.2), en conjunto con un aumento de los requerimientos solicitados por las empresas a los postulantes (ver anexo A.1, figura A.3). Extendiendo el horizonte de análisis hasta abril de 2021, Choi y Villena-Roldán (2021) muestran un aumento en los salarios, especialmente los pretendidos por los postulantes (ver anexo A.1, figura A.4), aspectos que no fueron vistos tan claramente durante la primera ola.

Se ha descrito evidencia para otros países. Para Estados Unidos por Kahn *et al.* (2020) quienes constatan una gran destrucción de empleo y una baja en la creación de vacantes, en los primeros meses de la pandemia (marzo y primera mitad de abril), evidenciado a través de portales de internet y en el aumento de solicitudes de “seguro de desempleo” (Unemployment Insurance, UI) respectivamente. Para Suecia, Hensvik *et al.* (2021) reportan una caída de 40 %

¹ Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, datos publicados por el Banco Central de Chile, disponibles en <https://si3.bcentral.cl/siete>

en las vacantes, en el mayor portal de empleos de ese país.

Se ha descrito previamente el comportamiento contra-cíclico de los “estándares de contratación”, es decir, el aumento de los requerimientos que exigen las empresas, en contexto de la baja en el ciclo económico. De igual manera, se han desarrollados trabajos teóricos que, usando el modelo DMP (Diamond, 1982, Mortensen y Pissarides, 1994, Pissarides, 1985, 2000) junto a un criterio de separación endógena (Mortensen y Pissarides, 1994), muestran este comportamiento contra-cíclico de los estándares de contratación (Choi *et al.*, 2022, Sedláček, 2014). Por otro lado, algunos trabajos teóricos han abordado los efectos macroeconómicos de la infección (Eichenbaum *et al.*, 2020) y se ha mostrado la interacción entre mercado laboral y pandemia (Bradley *et al.*, 2021, Brotherhood *et al.*, 2020, Kapička y Rupert, 2021). Estos trabajos tienen en común la utilización como piedra angular del modelo de propagación de enfermedades SIR², del escrito seminal de Kermack y McKendrick (1927). Desde el punto de vista epidemiológico, el modelo SEIR³ mostró una excelente capacidad predictiva para el desarrollo de la pandemia (Canals *et al.*, 2021).

Esta tesis está motivada por las descripciones del aumento de requerimientos de empresas durante la primera ola en Chile (Villena-Roldán, 2020) y por el trabajo de Kapička y Rupert (2021). Estos últimos autores, a través de la interacción de un modelo DMP del mercado laboral y el modelo SIR de propagación de enfermedades, muestran que, ante el aumento del riesgo de contagio y de fallecer a causa de la enfermedad, disminuye el valor del *match* a la vez que aumenta el salario de reserva y el salario promedio en la economía. Junto con lo anterior, no ha sido visto algún trabajo teórico que muestre el aumento de estándares de contratación en contexto de pandemia.

En este trabajo se desarrolla un modelo teórico en que interactúa el mercado laboral con la pandemia, incorporando un criterio de separación y contratación endógena, para mostrar la reacción del estándar que exigen las empresas para crear nuevas o mantener relaciones laborales, incorporando heterogeneidad etárea. El modelo teórico presente en esta tesis: (i) muestra el aumento en los estándares como un mecanismo causal adicional para explicar la destrucción de empleos y la baja en la creación de los mismos; (ii) muestra que el aumento del costo relativo de infectarse, que perciben los trabajadores al estar empleados, es uno de los factores principales que hace caer el valor del *match*, aumenta el criterio de separación y contratación endógena, aumenta el salario de reserva y, marginalmente, aumenta el salario promedio de la economía, además, se muestra que en este costo de infección influye fuertemente la probabilidad de fallecer a causa de la enfermedad; (iii) muestra que el mercado laboral se hace menos eficiente, al aumentar la probabilidad de separación y bajar la probabilidad de encontrar empleo del trabajador, explicado la primera por el alza en el estándar para mantener relaciones laborales, mientras que la última explicada por el aumento del estándar de contratación sumado a una caída en la estrechez de mercado; (iv) muestra que el

² Susceptible, Infectado, Retirado

³ Susceptible, Expuesto, Infectado, Retirado

incorporar de forma diferenciada el costo de los trabajadores de mayor edad, explica un 1 % del aumento del desempleo, junto con esto se aportan algunos elementos al debate en torno a la implementación de una cuarentena diferenciada para mayores de 65 años, en contexto pandémico; (v) muestra que el pago de licencias médicas genera un impacto positivo en el desempleo. El modelo incorpora de forma novedosa el aumento de los estándares que exigen las empresas, en el contexto de aumento de contagios, a la vez que se ajusta bien a los aspectos relevantes del mercado laboral y a la evolución de la pandemia.

Este trabajo está emparentado con aquellos paper teóricos que muestran la variación de estándares de contratación ante variaciones en la productividad agregada (Choi *et al.*, 2022, Sedláček, 2014). Del mismo modo, contribuye a la literatura existente acerca de la interacción del modelo DMP y la pandemia como, por ejemplo, Kapička y Rupert (2021). Sin embargo, si bien este trabajo comparte el atribuirle un rol importante al costo, y el riesgo, que tiene un empleado de infectarse, se diferencia en el mecanismo a través del cual se impacta el mercado laboral. En esta tesis se muestra que el alza de estándares es bastante significativo para explicar la respuesta del modelo. Otros trabajos, acerca de la interacción entre mercado laboral e infección, incorporan también heterogeneidad étnica como Bradley *et al.* (2021) y Brotherhood *et al.* (2020). No obstante, estos trabajos centran su análisis en el efecto de cuarentenas en el equilibrio, más aun, si bien Bradley *et al.* (2021) incorpora también un criterio de separación endógena en el contexto de un modelo DMP, está ausente la alusión a estándares de contratación. En algunos trabajos se ha argumentado que la existencia de cuarentenas diferenciadas, más estrictas para las personas mayores, tiene beneficios tanto para la salud como para la economía (Acemoglu *et al.*, 2021, Dusha *et al.*, 2020), debido a la menor productividad y mayor riesgo de fallecer de este grupo. Por otro lado, autores como Brotherhood *et al.* (2020) han llegado a conclusiones opuestas, al considerar la utilidad del “ocio fuera del hogar” y la conducta, en ausencia de cuarentena y en presencia de infección, de los mayores. En este trabajo se argumenta que proteger a las personas mayores sí tiene beneficios económicos, pero su efecto no se puede distinguir de otras políticas que también pueden reducir el avance del virus.

El resto de los capítulos se estructuran de la siguiente forma: en el 2^{do} capítulo se especifica el modelo; en el 3^{er} capítulo se detalla el equilibrio y sus propiedades; en el 4^{to} capítulo se plantea la estrategia de calibración base; en el 5^{to} capítulo se muestran los resultados del modelo; en el 6^{to} capítulo se muestra un análisis de resultados, que fortalecen la argumentación de los aspectos clave del modelo y respalda la robustez en la elección de algunos parámetros epidemiológicos; en el 7^{mo} capítulo se concluye.

Capítulo 2

MODELO

En este capítulo se expone el modelo teórico para dar respuesta a la pregunta de investigación. *Se extiende el trabajo de Kapička y Rupert (2021)*, incorporando un criterio de separación endógena, propuesto por Mortensen y Pissarides (1994), y también inspirado en los trabajos de Sedláček (2014) y Choi *et al.* (2022). Además, dado la heterogeneidad del impacto de la pandemia según la edad, se distingue entre trabajadores en la fuerza laboral y jubilados, inspirado en Bradley *et al.* (2021). Adicionalmente, siguiendo a Pissarides (2009), se incorpora un costo fijo de contratación.

Kapička y Rupert (2021) proponen un modelo en donde incorporan, valga la redundancia, el modelo SIR de propagación de enfermedades al modelo Diamond-Mortensen-Pissarides del mercado laboral, logrando capturar la interacción entre contagios y el comportamiento del mercado. Sedláček (2014) muestra como un criterio de contratación y de separación endógena permite explicar parte de la variación en la eficiencia de la función de *matching*, a través de cambios en los estándares de contratación durante el ciclo económico. Choi *et al.* (2022) muestran como la incorporación de un mecanismo de separación endógena, puede explicar tanto el comportamiento contra-cíclico de los estándares de contratación como el comportamiento cíclico de los salarios. Y Bradley *et al.* (2021) muestran un modelo con heterogeneidad en, la edad, la productividad y la capacidad (o factibilidad) de trabajar desde la casa.

2.1. Ambiente

Se escribe el modelo en tiempo discreto, con intervalos de 1 semana. En el modelo que se presenta, se distingue entre trabajadores dentro de la fuerza laboral N y jubilados O . En esta tesis se ocupa un modelo SEIR generalizado, como el propuesto por Peng *et al.* (2020)

y Guerrero-Nancuante y Manríquez (2020), adaptado a tiempo discreto y a las necesidades especiales de este trabajo. En este, los individuos tanto empleados E , desempleados U y jubilados, transitan de forma sucesiva por tres estados $\tilde{\Lambda} = \{S, I, R\}$: “Susceptibles”, “Infectados” y “Recuperados”. Así, existen individuos, susceptibles de contagio, que se denotan ES , US y OS , para empleados susceptibles, desempleados susceptibles y jubilados susceptibles respectivamente; infectados, que análogamente se denotan EI , UI y OI ; y recuperados ER , UR y OR . Adicional a lo anterior, existe un cuarto estado de personas “protegidas”, que cuenta por otras medidas de protección que son exógenas al modelo como lo son el uso de mascarillas, lavado constante de manos, distanciamiento físico, entre otras. Se denota $\Lambda^* = \tilde{\Lambda} \cup P$, donde P denota al estado protegido, y análogo a los otros grupos se denota EP , UP y OP , a empleados, desempleados y jubilados protegidos respectivamente. Naturalmente, los individuos en la economía parten siendo todos susceptibles, en cada periodo enfrentan una cierta probabilidad de contagiarse y pasar al estado de infectado. En este último estado, con cierta probabilidad pueden recuperarse o morir a causa de la enfermedad, si se recuperan pasan al estado de recuperado, en el cual no pueden contraer la enfermedad nuevamente. Junto con lo anterior, existe una probabilidad fija α_p , en cada periodo, de transitar desde el estado susceptible al estado protegido, en este último no se puede contraer la enfermedad. Este último estado no será conocido para ningún participante del mercado laboral.

Todos los trabajadores, independiente de su estado de salud, pueden retirarse(jubilarse) con probabilidad δ . Los jubilados tienen una mayor probabilidad condicional (dado que están contagiados) de fallecer de la enfermedad. Adicionalmente, pueden fallecer de causa natural con probabilidad ξ por periodo, y existe un “nacimiento” de trabajadores a la fuerza laboral de masa ζ en cada periodo, quienes lo harán como desempleados susceptibles. La población total en cada periodo está compuesta por la fuerza laboral y los jubilados, $Pob_t = N_t + O_t = E_t + U_t + O_t = S_t + I_t + R_t$.

Los trabajadores son heterogéneos en su productividad x , esta es asignada periodo a periodo según una función de distribución $G(x)$, como se verá, las funciones de utilidad serán crecientes en la productividad idiosincrática, sobre estas operará un criterio de separación y contratación endógeno.

Con esto, se completan cuatro dimensiones de heterogeneidad de los trabajadores dadas por: los estados en el mercado laboral, empleado o desempleado; los estados etéreos, dentro de la fuerza laboral o jubilado; los estados de la infección, Λ^* ; y por su productividad idiosincrática, x .

2.2. Mercado laboral

Se asume que la cualidad de protegido no es observable para el mercado laboral, ni para trabajadores ni firmas, solo afecta la posibilidad de que este grupo se contagie, sin embargo, esta es desconocida para ellos, por esto, la descripción del mercado laboral se restringe al conjunto $\tilde{\Lambda}$.

Se nota $\Lambda \in \tilde{\Lambda}$, como un elemento del respectivo conjunto. Las firmas pueden abrir vacantes en el mercado de los recuperados o en el mercado de los susceptibles. Como es usual en el modelo Diamond-Mortensen-Pissarides, se producen encuentros en el mercado laboral, modelados a través de una “función de *matching*”, en que el número de estos “*matches*” depende del número de vacantes v_t^{Λ} y desempleados u_t^{Λ} , en cada periodo y en cada estado de infección. Se denota la función de *matching*: $m_t^{\Lambda} \equiv M(u_t^{\Lambda}, v_t^{\Lambda})$ ⁵, con esto, la probabilidad de encontrar trabajo para un desempleado es $p_t^{\Lambda} \equiv \frac{m_t^{\Lambda}}{u_t^{\Lambda}}$, y de llenar una vacante para una firma es $q_t^{\Lambda} \equiv \frac{m_t^{\Lambda}}{v_t^{\Lambda}}$. Se asume que la función de *matching* tiene retornos constantes a escala, por lo que se pueden escribir estas probabilidades en función del ratio v-u, usualmente llamado “estrechez de mercado”, $\theta_t^{\Lambda} = \frac{v_t^{\Lambda}}{u_t^{\Lambda}}$, así se denota $p(\theta_t^{\Lambda}) \equiv p_t^{\Lambda} = M(1, \theta_t^{\Lambda})$ y $q(\theta_t^{\Lambda}) \equiv q_t^{\Lambda} = M(\frac{1}{\theta_t^{\Lambda}}, 1)$.

En cada periodo existe una probabilidad λ , de que una relación laboral termine por causas exógenas.

En el anexo C se encuentran en detalle las funciones de utilidad de cada uno de los actores del modelo, las cuales se describen brevemente en los párrafos siguientes. Antes de revisar el anexo le será útil revisar la sección siguiente, sobre las probabilidades de transición entre estados.

Los trabajadores desempleados reciben una utilidad no laboral b , mientras que los empleados reciben su salario $\omega^{\Lambda}(x)$, el cual es negociado en cada periodo y depende de la productividad idiosincrática. Para mas detalles vea las ecuaciones C.1, C.2, C.6, C.7, C.10 y C.11.

Las firmas perciben una utilidad por periodo, igual a la productividad idiosincrática (x) menos el salario ($\omega^{\Lambda}(x)$); e incurren en un costo κ por mantener una vacante abierta. Adicionalmente, deben pagar un costo H en caso de contratar a un trabajador, el cual es específico al *match* y representa costos de entrevistas, contratación y puesta en marcha (Pissarides, 2009). Ver ecuaciones C.3, C.4, C.8, C.12 y C.13.

⁴ Las vacantes sólo se pueden abrir en el mercado de recuperados o susceptibles.

⁵ Sólo hay búsqueda de empleo en el caso de recuperados y susceptibles

Cuando un trabajador está infectado, este no puede buscar empleo, no puede ser contratado y no produce, además, percibe una des-utilidad no monetaria c , en cada periodo en que esté enfermo. Los trabajadores empleados e infectados reciben una transferencia a suma alzada mientras no puedan trabajar, que representa el pago de una licencia médica. Ya que un empleado infectado no produce, entonces, las firmas no reciben ingreso al mantener una relación laboral con un trabajador infectado, solo deben pagar el salario correspondiente. Ver ecuaciones C.6, C.7 y C.8.

En cada periodo, trabajador y empleador deciden el salario, según una “negociación de Nash”, en que se reparten el excedente que se crea ex-ante la producción comience, que es igual a las funciones de valor de trabajador y firma, $E_t^\Lambda(x)$ y $J_t^\Lambda(x)$ respectivamente, neto de sus opciones externas (U_t^Λ y V respectivamente). Se define el excedente: $S_t^\Lambda(x) = (E_t^\Lambda(x) - U_t^\Lambda) + (J_t^\Lambda(x) - V)$. Dada la naturaleza i.i.d. de las realizaciones de la productividad, existe, entonces, una única “productividad de reserva” (Ψ_t^Λ), tal que, $S_t^\Lambda(x) \geq 0 \quad \forall x \geq \Psi_t^\Lambda$, lo que define el criterio de separación (contratación) endógena. Nótese que esto a su vez implica, $E_t^\Lambda(x) \geq U_t^\Lambda$ y $J_t^\Lambda(x) \geq V \quad \forall x \geq \Psi_t^\Lambda$, es decir, este criterio de separación o contratación endógeno es privadamente eficiente tanto para trabajadores como para las firmas.

Los jubilados en cualquiera de los estados de infección, perciben una utilidad por periodo b_0 , que representa el pago de una pensión más otros ingresos no monetarios. Al igual que los trabajadores activos perciben una des-utilidad no monetaria c , mientras están enfermos. Ver ecuaciones C.5, C.9 y C.14.

2.3. Transiciones entre estados

En el anexo B se encuentra una descripción detallada de las transiciones entre estados, tanto de la infección como del mercado laboral. El tiempo en que ocurren las transiciones entre estados queda definido como sigue:

- Se define el periodo $t \equiv [t, t + 1)$. Al final de cada periodo es revelado si ocurrió un *match* entre un trabajador desempleado y una vacante abierta, y para los trabajadores infectados es revelado si este se recupera de la enfermedad, si fallece o si continua como infectado, con información completa y perfecta.
- Al término de cada periodo ocurren las transiciones desde el estado susceptible hacia el estado protegido.
- Al comienzo de cada periodo, en el caso de los trabajadores susceptibles, tanto para empleados como desempleados y también los jubilados es revelado si este se contagió o no durante el periodo anterior, con información completa y perfecta.

- Al comienzo de cada periodo, luego de revelarse las transiciones entre estados de la infección, pero antes de que comience la producción, es asignada la productividad idiosincrática del trabajador. Se decide entonces, endógenamente, la separación en el caso de los trabajadores empleados y la contratación (o rechazo) en el caso de los trabajadores desempleados que encontraron un *match*, también con información completa y perfecta.
- Las transiciones entre estados etéreos, tanto los nacimientos a la fuerza laboral, las jubilaciones y las muertes por causa natural, ocurren al comienzo de cada periodo, con información completa y perfecta.

2.3.1. Probabilidades de la pandemia

En el modelo SIR las probabilidades de infección son modeladas de manera sencilla, dependiente en el número de interacciones que pueden haber entre individuos susceptibles e infectados, y en el grado de contagiosidad del virus (De León y Gómez Corral, 2020).

Siguiendo a Kapička y Rupert (2021) y a Bradley *et al.* (2021), se asume que tanto empleados, desempleados y jubilados interactúan con todos los infectados de la economía, no obstante, a tasas distintas dadas por constantes $S^E > S^U \geq \rho S^U$ respectivamente. Nótese que ρ representa un parámetro de “disminución de interacciones sociales” de los jubilados. En la calibración base del parámetro ρ se asumirá que, jubilados y desempleados realizan el mismo número de interacciones sociales. Si se disminuye este parámetro, a un valor $\tilde{\rho} < 1, 0$, será posible realizar un estudio contra-factual, donde se disminuye la interacción social de este grupo a través, por ejemplo, de una cuarentena. De este modo, el número de nuevos infectados periodo a periodo está dado por:

$$\begin{aligned} ET_t &= S^E I_t E S_t \\ UT_t &= S^U I_t U S_t \\ OT_t &= \rho S^U I_t O S_t \end{aligned}$$

Dado esto, las probabilidades de contagio son:

$$\begin{aligned} \pi_t^{EI} = \frac{ET_t}{ES_t} &\Rightarrow \pi_t^{EI} = S^E I_t = S^E (EI_t + UI_t + OI_t) \\ \pi_t^{UI} = \frac{UT_t}{US_t} &\Rightarrow \pi_t^{UI} = S^U I_t = S^U (EI_t + UI_t + OI_t) \\ \pi_t^{OI} = \frac{OT_t}{US_t} &\Rightarrow \pi_t^{OI} = \rho S^U I_t = \rho S^U (EI_t + UI_t + OI_t) \end{aligned} \quad (1)$$

Por otro lado, las probabilidades de recuperarse o de morir para un trabajador infectado, están dadas por constantes π_R y π_D respectivamente, mientras que para los jubilados se denotan π_R^O y π_D^O respectivamente, en donde $\pi_D^O > \pi_D$. Junto con lo anterior, recuerde que existe una

probabilidad constante, α_p , de transitar desde el estado susceptible al estado protegido, en cada periodo.

2.3.2. Probabilidades de transición en el mercado laboral

Cabe notar, que al ser la condición de “protegido” no observable para el mercado laboral, las firmas exigirán para estos el mismo estándar (productividad de reserva) que para trabajadores susceptibles, y abrirán vacantes para este grupo en el mercado de los susceptibles. Debido a esto, la productividad de reserva y la estrechez de mercado para el grupo de los protegidos es igual que para el grupo de los susceptibles, i.e., $\Psi_t^P = \Psi_t^S$ y $\theta_t^P = \theta_t^S$. Por lo que, la descripción de las probabilidades de transición se restringe al conjunto de estados $\tilde{\Lambda}$.

Dada la situación general antes descrita, se notará que, en el mercado laboral las probabilidades de transición: del desempleo al empleo, la cual se llamará “probabilidad de contratación” y se denotará f_t^Λ ; y del empleo al desempleo, que se llamará “probabilidad de separación” y se denotará s_t^Λ , quedan descritas por:

$$f_t^\Lambda = p(\theta_t^\Lambda)(1 - G(\Psi_{t+1}^\Lambda)) \quad (2.a)$$

$$s_t^\Lambda = \lambda + (1 - \lambda)G(\Psi_{t+1}^\Lambda) \quad (2.b)$$

La probabilidad de contratación en el periodo t, es la probabilidad conjunta de que haya ocurrido un *match* para el trabajador (en el periodo t), y que su productividad idiosincrática (en el periodo t+1) sea mayor a la productividad de reserva. Por otro lado, la probabilidad de separación en el periodo t, es la suma de los casos en que la relación laboral es destruida exógenamente y de cuando es destruida endógenamente, esto último, implicando que la productividad idiosincrática del trabajador, en el periodo t+1, sea menor a la de reserva.

Nótese que tanto las separaciones como las contrataciones, que se denotan aquí como del periodo t, en realidad ocurren al comienzo del periodo t+1, una vez que es revelada la productividad idiosincrática del trabajador.

Además, si bien las probabilidades “efectivas” de transición, en las fases recuperado y protegido, así como para empleados susceptibles, son tal cual están descritas en las ecuaciones 2.a y 2.b, esto no es cierto para desempleados susceptibles e infectados. Los primeros, pueden infectarse en el mismo periodo en que encuentran un *match*, lo que les prohíbe ser contratados, aún cuando su productividad sea mayor a la de reserva. Los segundos, tienen una probabilidad de morir a causa de la infección. Esto implica que las probabilidades efectivas de transición para estos grupos son: $(1 - \pi_t^{UI})f_t^S$, $(1 - \pi_D)s_t^I$ y $(1 - \pi_D)f_t^I$, para desempleados susceptibles, empleados infectados y desempleados infectados respectivamente.

En las ecuaciones 2.a y 2.b, la productividad de reserva, Ψ_{t+1}^Λ , define en cada periodo y en

cada estado de infección los “estándares de contratación” y los “estándares de no separación” (Choi *et al.*, 2022, Sedláček, 2014). Estos estándares varía con el valor del *match* y afectarán directamente la contratación (o rechazo) endógena, $(1 - G(\Psi_{t+1}^\Lambda))$ en la ecuación 2.a, y la separación (o no) endógena, $(1 - \lambda)G(\Psi_{t+1}^\Lambda)$, en la ecuación 2.b.

2.4. Dinámica de la Infección

En el anexo B se encuentran escritas las transiciones entre los distintos estados: del mercado laboral, entre empleo y desempleo; entre estados etéreos, nacimientos, jubilaciones y muertes por causa natural; y entre estados de la infección. Reescribiendo las ecuaciones agregadas por estado de infección B.17, B.18, B.19, B.20, B.21, en términos de su variación periodo a periodo⁶.

$$D_{t+1}^{COVID} - D_t^{COVID} = \pi_D(EI_t + UI_t) + \pi_D^O OI_t$$

$$R_{t+1} - R_t = \pi_R(EI_t + UI_t) + \pi_R^O OI_t$$

$$P_{t+1} - P_t = \alpha_p S_t$$

$$I_{t+1} - I_t = -(\pi_R + \pi_D)(EI_t + UI_t) - (\pi_R^O + \pi_D^O)OI_t + S^E ES_t I_t + S^U US_t I_t + \rho S^U OS_t I_t \quad (3.a)$$

$$S_{t+1} - (1 - \alpha_p)S_t = -S^E ES_t I_t - S^U US_t I_t - \rho S^U OS_t I_t \quad (3.b)$$

La variación de la cantidad de fallecidos, de recuperados y protegidos, queda descrito solo por la cantidad de infectados y de susceptibles en cada periodo, por lo que, como es usual en el modelo SIR, la dinámica de la epidemia queda descrita sólo por la variación de estos dos grupos.

El número de infectados aumenta cada periodo, debido a la interacción entre empleados susceptibles e infectados, desempleados susceptibles e infectados, y jubilados susceptibles e infectados. Estos grupos se infectan a tasas distintas, dadas por las constantes S^E , S^U y ρS^U respectivamente. Es decir, la cantidad de infectados activos aumenta periodo a periodo a una tasa $(S^E ES_t + S^U US_t + \rho S^U OS_t)$. Por otro lado, la cantidad de infectados disminuye cada periodo, debido a la recuperación o muerte de infectados en cada periodo, lo que ocurre a tasas constantes, $(\pi_R + \pi_D)$ en el caso de los jóvenes, y $(\pi_R^O + \pi_D^O)$ en el caso de los viejos. En cambio, La cantidad de susceptibles disminuye periodo a periodo a una tasa, $\alpha + (S^E ES_t + S^U US_t + \rho S^U OS_t) \frac{I_t}{S_t}$. Nótese que el número de infectados aumentará mientras:

$$S^E ES_t + S^U US_t + \rho S^U OS_t > (\pi_R + \pi_D) \frac{EI_t + UI_t}{I_t} + (\pi_R^O + \pi_D^O) \frac{OI_t}{I_t} \quad (3.c)$$

⁶ Nótese que: $\pi_t^{EI} = S^E I_t$, $\pi_t^{UI} = S^U I_t$.

En el comienzo de la pandemia esta condición se cumplirá. Debido a la gran cantidad de población susceptible, la cantidad de infectados activos aumentará desde su valor inicial hasta alcanzar un máximo, en el periodo en que se verifique que la ecuación 3.c se cumple con igualdad, para luego disminuir hasta su extinción. Por otro lado, la cantidad de susceptibles + protegidos disminuirá desde el periodo inicial hasta que ya no existan infectados. Del mismo modo, la cantidad de recuperados y fallecidos aumentará desde el periodo inicial hasta la extinción de la pandemia (De León y Gómez Corral, 2020).

En las ecuaciones 3.a y 3.b es claro ver la interacción de la pandemia con el mercado laboral, ya que, la variación de las cantidades de infectados y susceptibles depende de la proporción de empleados y desempleados susceptibles, lo que implica que depende del nivel de desempleo. También se puede apreciar el rol de la heterogeneidad étnica, dado que existirá siempre (a no ser que la pandemia se extinga) una proporción de jubilados susceptibles.

2.5. Condiciones iniciales

En un tiempo cero el sistema está en un equilibrio estacionario pre-pandémico, en ese instante se infectan de manera exógena un número ϵ de trabajadores, de manera equitativa entre empleados y desempleados, y proporcional en el caso de los jubilados. Se asume que la fuerza laboral pre-pandémica está normalizada a uno, $N_0 = 1$, y una proporción de jubilados de 0,233, $O_0 = 0,233^7$:

$$\begin{aligned} N_0 = 1 \\ O_0 = 0,233 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad P_{ob_0} = 1,233 \quad \Rightarrow \quad D_0^{COVID} = 0$$

$$\begin{aligned} I_0 = \epsilon \\ S_0 = P_{ob_0} - \epsilon \\ R_0 = ER_0 = UR_0 = OR_0 = 0 \\ P_0 = EP_0 = UP_0 = OP_0 = 0 \end{aligned} \quad \begin{aligned} EI_0 = UI_0 = \left(\frac{1}{P_{ob_0}}\right) \frac{I_0}{2} \\ ES_0 = US_0 = \left(\frac{1}{P_{ob_0}}\right) \frac{S_0}{2} \end{aligned} \quad \begin{aligned} OI_0 = \left(\frac{O_0}{P_{ob_0}}\right) I_0 \\ OS_0 = \left(\frac{O_0}{P_{ob_0}}\right) S_0 \end{aligned} \quad (4)$$

⁷ Este supuesto está hecho considerando una fuerza laboral de 9,7 millones, según datos del Banco Central para 2019, disponible en <https://si3.bcentral.cl/siete>, y una población mayor de 65 años de 2,26 millones en 2019, según datos del INE, disponible en <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales>.

Note que la condición de estacionariedad se logra, en ausencia de la infección, con $\zeta = \delta$, y $\xi = \frac{\delta}{0,233}$.

Capítulo 3

EQUILIBRIO

⁸ Siguiendo a Pissarides (2000), en un modelo con separación endógena, como el que se presenta, el equilibrio está completamente caracterizado por: (i) un “contrato” en cada periodo, representado por un salario en cada estado de infección, en función de la productividad idiosincrática, $\omega^\Lambda(x)$, y una productividad de reserva para cada estado de infección, Ψ_t^Λ ; (ii) la estrechez en el mercado de los susceptibles y en el mercado de los recuperados (θ_t^S y θ_t^R); (iii) y la evolución de la masa de trabajadores (o de la masa de desempleados) en cada estado de infección.

En resumen, el equilibrio está dado por: el contrato $\{\omega^E(x), \Psi_t^E\}_{t=0}^T$; la estrechez de mercado, $\{\theta_t^S, \theta_t^R\}_{t=0}^T$; la evolución de la cantidad de trabajadores, $\{ES_t, US_t, EI_t, UI_t, ER_t, UR_t, P_t, O_t, D_t\}_{t=1}^T$; y las condiciones iniciales $\{ES_0, US_0, EI_0, UI_0, ER_0, UR_0, P_0, O_0, D_0\}$, descritas estas últimas por la ecuación 4.

En cada periodo el modelo puede ser resuelto de manera recursiva, partiendo por la fase recuperado, luego la fase infectado y, por último, la fase susceptible (Kapička y Rupert, 2021).

En el anexo C hay un en detalle de las funciones de utilidad de los agentes de la economía, en cada estado del mercado laboral y etéreo, es decir, empleado, desempleado y jubilado, y en cada estado de la infección, i.e., susceptible, infectado y recuperado⁹.

En este modelo se asume libre entrada, lo que implica $V = 0$. Al imponer la condición de libre entrada en las ecuaciones C.4 y C.13, se obtienen las condiciones de creación de empleo,

⁸ En el anexo F.1 se encuentra una pequeña introducción a un modelo con separación endógena, entrada costosa y costos fijos de contratación. El modelo que aquí se resuelve es un caso particular con libre entrada y la interacción con una adaptación del modelo SIR de propagación de enfermedades.

⁹ Debido a que la condición de protegido es desconocida para todos los agentes del modelo, los individuos en este estado actuarán como susceptibles (a pesar de no poder infectarse), y las firmas asumirán que estos son susceptibles de contraer la enfermedad. Por lo tanto, los protegidos tienen las mismas funciones de utilidad que los susceptibles.

en el mercado de los recuperados y en el mercado de los susceptibles respectivamente:

$$\int_{\Psi^R}^{\infty} J^R(s) dG(s) = \frac{\kappa}{\beta(1-\delta)q(\theta^R)} + (1 - G(\Psi^R))H \quad (5.a)$$

$$\int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} J_{t+1}^S(s) dG(s) = \frac{\kappa}{\beta(1-\delta)q(\theta_t^S)(1-\pi_t^{UI})} + (1 - G(\Psi_{t+1}^S))H \quad (5.b)$$

El lado izquierdo de las ecuaciones 5.a y 5.b representa el beneficio esperado, para una firma, de llenar una vacante. Mientras que el lado izquierdo de las mismas ecuaciones es la suma del costo variable esperado (primer término del lado derecho) y del costo fijo esperado (segundo término del lado derecho). Recuerde que en estas ecuaciones H representa un costo específico al *match*, el que se paga solo al momento de contratar a un trabajador, representando costos de entrevistas, puesta en marcha, entre otros (Pissarides, 2009).

En cada fase se encontrarán ecuaciones para: la condición de creación de empleo, la condición de destrucción de empleo y la curva de salarios. Dependientes solo de los valores de equilibrio de Ψ_t^A y θ_t^A , la evolución de las probabilidades de infección, π_t^{UI} y π_t^{EI} , y los parámetros del modelo.

3.1. Fase Recuperado

Es útil notar que el equilibrio de la fase recuperado define un caso base. Este es invariante en el tiempo, dado que no pueden contraer la enfermedad y la naturaleza constante de las transiciones entre estados etéreos.

Se calcula el excedente, el cual es definido como la suma de las funciones de valor de un empleo para el trabajador y para la firma, neto de sus opciones externas, $S^R(x) = (E^R(x) - U^R) + (J^R(x) - V)$:

$$S^R(x) = x - b + \beta(1-\delta)(1-\lambda-p(\theta)\phi) \int_{\Psi^R}^{\infty} S^R(s) dG(s) \quad (6.a)$$

El salario es negociado periodo a periodo, según un modelo de “negociación de Nash”, esto implica una regla de reparto del excedente en función del poder de negociación del trabajador. Sea ϕ el poder de negociación del trabajador, entonces, $\phi S^R(x) = (E^R(x) - U^R)$ y $(1-\phi)S^R(x) = (J^R(x) - V)$. Con esto, se calcula la curva de salarios, la cual es función de la productividad idiosincrática del trabajador y es una combinación lineal del ingreso no laboral y de la productividad:

$$\omega^R(x) = (1-\phi)b + \phi \left(x + \theta^R \left(\kappa + \beta(1-\delta)q(\theta)(1 - G(\Psi^R))H \right) \right) \quad (6.b)$$

Usando la condición que define a la productividad de reserva, $S^R(\Psi^R) = 0$, y restando $S^R(x) - S^R(\Psi^R)$, se obtiene:

$$S^R(x) = x - \Psi^R \quad (6.c)$$

Reemplazando 6.c en las ecuaciones para el excedente, 6.a, y para la condición de creación de empleo, 5.a, junto a la regla de reparto del excedente y la condición que define a la productividad de reserva, se obtienen la condición de destrucción de empleo y la condición de creación de empleo.

Condición de Creación de Empleo:

$$(1 - \phi) \int_{\Psi^R}^{\infty} (s - \Psi^R) dG(s) = \frac{\kappa}{\beta(1 - \delta)q(\theta^R)} + (1 - G(\Psi^R))H \quad (6.d)$$

Condición de Destrucción de Empleo:

$$\Psi^R = b - \beta(1 - \delta)(1 - \lambda - p(\theta)\phi) \int_{\Psi^R}^{\infty} (s - \Psi^R) dG(s) \quad (6.e)$$

En la sección de anexo D.1 se encuentran algunas notas complementarias donde se define, y explicita, el “salario de reserva” y el “acaparamiento de mano de obra” (Labor Hoarding), descritos por Pissarides (2000).

3.2. Fase Infectado

Dada la naturaleza constante de las probabilidades de recuperación y muerte, y la naturaleza constante de las transiciones entre estados etéreos, entonces, el equilibrio de este estado es invariante en el tiempo. Análogo a la fase recuperado se construye una ecuación para el excedente:

$$S^I(x) = \eta x - b + \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \left[\pi_R \int_{\Psi^R}^{\infty} S^R(s) dG(s) + (1 - \pi_R - \pi_D) \int_{\Psi^I}^{\infty} S^I(s) dG(s) \right] \quad (7.a)$$

Nótese que esta ecuación se diferencia con el caso base (fase recuperado) en tres cosas: (1) el flujo de utilidad contemporáneo corresponde a la diferencia entre, el pago de la licencia médica menos el ingreso no laboral, $\eta x - b$, en comparación con la diferencia entre, x y b ; (2) los valores de continuación descontados toman en cuenta la probabilidad de que exista un cambio de estado, de infectado a recuperado; (3) debido a que los infectados no pueden buscar empleo, crece la diferencia entre estar empleado y desempleado, por lo que no aparece el término que cuenta por la probabilidad de continuar desempleado y encontrar empleo en el periodo siguiente ($-\phi p(\theta^R)$, en la fase recuperado).

Ocupando la regla de reparto del excedente se obtiene la curva de salarios:

$$\omega^I(x) = (1 - \phi)(b - \eta x) \quad (7.b)$$

Se define el ingreso de los trabajadores infectados como $I(x) \equiv \omega(x) + \eta x$, el cual también es una combinación lineal del ingreso no laboral y la productividad. Este difiere del caso base en el parámetro de la licencia médica, η , y es más pequeño debido a que los infectados no pueden buscar empleo (desaparece el término multiplicado por la estrechez de mercado).

$$I(x) = (1 - \phi)b + \phi \eta x \quad (7.c)$$

Análogamente, restando $S^I(x) - S^I(\Psi^I)$, se obtiene, $S^I(x) = \eta(x - \Psi^I)$. Reemplazando esto último, junto a la regla de reparto del excedente y la regla que define a la productividad de reserva, en la ecuación 7.a, se obtiene la condición de destrucción de empleo (recuerde que no hay creación de empleo para los trabajadores infectados):

$$\eta \Psi^I = b - \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \left[\pi_R \int_{\Psi^R}^{\infty} (s - \Psi^R) dG(s) + (1 - \pi_R - \pi_D) \eta \int_{\Psi^I}^{\infty} (s - \Psi^I) dG(s) \right] \quad (7.d)$$

Análogo a la fase recuperado, en la sección de anexo D.2, se define y anota un “ingreso de reserva” y el llamado acaparamiento de mano de obra (Labor Hoarding).

3.3. Fase Susceptible

Análogamente, se calcula una ecuación para el excedente. Tomando en cuenta la forma en que se mide el excedente en estos modelos, al realizar la resta $E_t^S - U_t^S$, en la ecuación del excedente aparece un término que representa el costo de infectarse para un susceptible, ponderado por la diferencia en la probabilidad de contagio entre empleados y desempleados (tercera línea de la ecuación):

$$\begin{aligned} S_t^S(x) = & x - b + \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \left[\pi_t^{EI} \int_{\Psi^I}^{\infty} S^I(s) dG(s) + (1 - \pi_t^{EI}) \int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} S_{t+1}^S(s) dG(s) \right] \\ & - \beta(1 - \delta) p(\theta_t^S) (1 - \pi_t^{UI}) \phi \int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} S_{t+1}^S(s) dG(s) \\ & + \beta(1 - \delta) (\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI}) \Delta_{t+1}^S + \beta \delta (\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI}) \Delta_{t+1}^O \end{aligned} \quad (8.a)$$

Al igual que en Kapička y Rupert (2021) se ha definido $\Delta_t^S \equiv U^I - U_t^S$ como la pérdida de utilidad de un desempleado susceptible al infectarse y, análogamente, $\Delta_t^O \equiv O^I - O_t^S$ como la pérdida de utilidad de un jubilado al infectarse. Dado el riesgo de fallecer a causa de la enfermedad y el hecho de que desempleados infectados no pueden buscar empleo, ambos términos son negativos. Nótese que la pérdida de utilidad de un jubilado al infectarse está

ponderado por la diferencia de las probabilidades de contagio de empleados y desempleados. Esto se debe a que los contagios ocurren al final de los periodos, i.e., antes de que el trabajador se jubile. Este supuesto permite mantener la “forma” del modelo de Kapička y Rupert (2021), a la vez que puede ser interpretado como el “riesgo” de infección de los trabajadores de mayor edad, próximos a jubilar. Nótese además que, dado por la ecuación 1, $(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI}) = (S^E - S^U)I_t$, es decir, equivale al producto del número de infectados y la diferencia entre las tasas a la que se infectan empleados y desempleados, por lo que este término será mayor en la medida que más infectados activos hayan. Entonces, el valor del *match* disminuirá más en la medida que más infectados hayan en la economía. Este valor es “castigado” dado la posibilidad de que el trabajador se infecte. Una diferencia adicional con el caso base es que los valores descontados de utilidad, en el periodo siguiente, toman en cuenta que puede haber una transición desde el estado susceptible al estado infectado.

Ocupando la regla de reparto del excedente se obtiene la curva de salarios:

$$\begin{aligned} \omega_t^S(x) = & (1 - \phi)b + \phi \left(x + \theta_t^S \left(\kappa + \beta(1 - \delta)q(\theta_t^S)(1 - \pi_t^{UI})(1 - G(\Psi_{t+1}^S))H \right) \right) \\ & - (1 - \phi) \left[\beta(1 - \delta)(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^S + \beta\delta(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^O \right] \end{aligned} \quad (8.b)$$

Se observa que el salario, 8.b, aumenta en periodos en que la posibilidad de contagio es mayor, dado por el término de la segunda fila.

Del mismo modo que en la fase recuperado, restando $S_t^S(x_t) - S_t^S(\Psi_t^S)$, se obtiene $S_t^S(x_t) = x_t - \Psi_t^S$. Reemplazando esto último, junto a la regla de reparto del excedente y la regla que define a la productividad de reserva, en la ecuación 8.a, se obtiene la condición de destrucción de empleo. Del mismo modo, reemplazando en la ecuación 5.b, se obtiene la condición de creación de empleo:

Condición de Creación de Empleo:

$$(1 - \phi) \int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} (s - \Psi_{t+1}^S) dG(s) = \frac{\kappa}{\beta(1 - \delta)(1 - \pi_t^{UI})q(\theta_t^S)} + (1 - G(\Psi_{t+1}^S))H \quad (8.c)$$

Condición de Destrucción de Empleo:

$$\begin{aligned} \Psi_t^S = & b + \beta(1 - \delta)p(\theta_t^S)(1 - \pi_t^{UI})\phi \int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} (s - \Psi_{t+1}^S) dG(s) \\ & - \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \left[\pi_t^{EI}\eta \int_{\Psi^I}^{\infty} (s - \Psi^I) dG(s) + (1 - \pi_t^{EI}) \int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} (s - \Psi_{t+1}^S) dG(s) \right] \\ & - \beta(1 - \delta)(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^S - \beta\delta(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^O \end{aligned} \quad (8.d)$$

En la condición de creación de empleo se observa que la probabilidad efectiva de llenar

una vacante¹⁰, $(1 - \pi_t^{UI})q(\theta_t^S)$, disminuirá en la medida que más infectados activos existan, haciendo subir el costo esperado de llenar una vacante. Por lo tanto, la firma exigirá un valor esperado de su fracción del *match* mayor, lo que implica un “estándar de contratación” mayor. Por otro lado, en la condición de destrucción de empleo se observa que, la productividad de reserva aumentará con la propagación de la infección, dado principalmente por el aumento del término en la tercera fila. Este término representa el costo de padecer la infección, y con probabilidad mayor a cero, fallecer a causa de esta. Esto implica una destrucción de empleo mayor en la medida que más infectados activos existan, por lo tanto, un alza del estándar para mantener las relaciones laborales (“estándar de no separación”).

Para caracterizar completamente el equilibrio en la fase susceptible, es necesario calcular una ley de movimiento de la pérdida de utilidad, tanto de desempleados susceptibles al infectarse como de jubilados susceptibles al infectarse:

$$\begin{aligned} \Delta_t^S = & (1 - \beta(1 - \delta))U^I - \beta\delta O^I - b \\ & - \beta(1 - \delta)p(\theta_t^S)(1 - \pi_t^{UI})\phi \int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} (s - \Psi_{t+1}^S)dG(s) \\ & + \beta(1 - \delta) \left(1 - \pi_t^{UI}\right) \Delta_{t+1}^S + \beta\delta(1 - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^O \end{aligned} \quad (8.e)$$

$$\Delta_t^O = (1 - \beta(1 - \xi))O^I - b_0 + \beta(1 - \xi)(1 - \pi_t^{OI})\Delta_{t+1}^O - \beta\xi D \quad (8.f)$$

En la sección de anexo D.3 se define de manera análoga a las fases anteriores, el salario de reserva y el llamado acaparamiento de mano de obra (Labor Hoarding). Adicionalmente, se definen explícitamente la forma reducida de las funciones de valor U^R , U^I , O^R y O^I , necesarias para el cálculo de las funciones de pérdida de utilidad, 8.e y 8.f, en cada periodo.

Siguiendo a Kapička y Rupert (2021), el equilibrio de la fase susceptible en cada periodo se resuelve con las ecuaciones 8.c, 8.d, 8.e, y 8.f. El sistema puede resolverse dado $\{\theta_{t+1}^S, \Psi_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O\}$. Luego, usando las ecuaciones 8.d, 8.e y 8.f, se encuentran Ψ_t^S , Δ_t^S y Δ_t^O respectivamente. Finalmente, con el valor de equilibrio Ψ_t^S , usando la ecuación 8.c se calcula θ_t^S .

Ya que, el sistema evolucionará desde un estado estacionario pre-pandémico, a un estado estacionario post-pandémico, se puede resolver de manera iterativa, comenzando desde un periodo T , lo suficientemente lejano para que el sistema esté en estado estacionario. El estado estacionario post-pandémico¹¹ para resolver la fase susceptible, $\{\theta^{ES}, \Psi^{ES}, \Delta^{ES}\}$, es tal que, $\theta^{ES} = \theta^R$, $\Psi^{ES} = \Psi^R$ y $\{\Delta^{S,ES}, \Delta^{O,ES}\}$ están dadas por D.9 y D.10.

El equilibrio de la fase susceptible depende de la evolución de las probabilidades de infección, por lo tanto, de la cantidad de infectados en cada periodo, es decir, la evolución de

¹⁰ Antes de la contratación endógena.

¹¹ En la sección de anexo D.4 se detalla el equilibrio estacionario del modelo.

la pandemia. El cálculo del equilibrio exige que se cumplan, de manera conjunta, un grupo de ecuaciones de la forma $X_t = f(X_{t-1})$, descritas por las ecuaciones 8.c, 8.d, 8.e y 8.f, y un grupo de ecuaciones de la forma $Y_{t-1} = g(Y_t)$, descritas por las ecuaciones 3.a y 3.b. Para resolver computacionalmente la fase susceptible, se puede partir por una conjetura inicial de $\{\theta_t^S, \Psi_t^S, \Delta_t^S, \Delta_t^O\}_{t=0}^T$. Calcular con esto la cantidad de infectados en cada periodo, desde $t = 0$ hasta T , usando las ecuaciones 3.a y 3.b. Con este calculo de $\{I_t\}_{t=0}^T$, resolver las ecuaciones 8.c, 8.d, 8.e y 8.f, desde T hasta $t = 0$, encontrando la estrechez de mercado, productividad de reserva y pérdida de utilidad, en cada periodo. Luego, ajustar la conjetura inicial, con un paso pequeño en la dirección correcta, e iterar hasta que las ecuaciones se cumplan con un nivel de tolerancia arbitrario.

El equilibrio general del modelo, descrito al comienzo del capítulo, está completamente caracterizado por el cumplimiento conjunto de las ecuaciones de: la estrechez de mercado de los recuperados y susceptibles (6.d y 8.c); la productividad de reserva en cada estado (6.e, 7.d y 8.d); las leyes de movimiento de la pérdida de utilidad (8.e y 8.f); las ecuaciones que identifican la evolución de la pandemia (3.a y 3.b); y las condiciones iniciales de la ecuación 4.

Capítulo 4

CALIBRACIÓN

Se asume que la función de *matching* está dada por una función *Cobb-Douglas*, con retornos constantes a escala, $M_t(U_t^\Lambda, V_t^\Lambda) = m(U_t^\Lambda)^\alpha (V_t^\Lambda)^{1-\alpha}$ ¹². Con lo que las probabilidades de obtener un *match*, para el trabajador y para la firma, son: $p(\theta_t^\Lambda) = m(\theta_t^\Lambda)^{1-\alpha}$ y $q(\theta_t^\Lambda) = m(\theta_t^\Lambda)^{-\alpha}$ respectivamente¹³. También, se asume que la productividad idiosincrática del trabajador, x , es asignada periodo a periodo según una distribución *log-normal* de parámetros μ y σ , $x \sim \text{LN}(\mu, \sigma)$. Tomando en cuenta estas formas funcionales se deben calibrar 26 parámetros.

- Ocho Parámetros correspondientes al modelo canónico del mercado laboral: los parámetros de la función de *matching*, α y m ; el costo por periodo de mantener una vacante abierta, κ ; el costo fijo de contratación, H ; el factor de descuento, β ; la probabilidad exógena de destrucción de empleo, λ ; el ingreso no laboral, b ; y el poder de negociación de los trabajadores, ϕ .
- Dos parámetros de la distribución de los *shocks* idiosincráticos, μ y σ .
- Nueve parámetros del modelo en pandemia: el costo no monetario de infección, c ; el valor de continuación de la muerte, D ; el parámetro de la “licencia médica”, η ; las probabilidades de recuperación y muerte para trabajadores (menores de 65 años), π_R y π_D ; las tasas de infección de empleados y desempleados susceptibles, S^E y S^U ; la cantidad exógena de infectados en $t = 0$, ϵ ; y el parámetro de “protección”, α_p .
- Siete parámetros de la heterogeneidad etárea: la probabilidad de retiro, δ ; la probabilidad de muerte por vejez, ξ ; la tasa de nacimiento, ζ ; el flujo de utilidad de los jubilados, b_0 ;

¹² Donde $\Lambda \in \tilde{\Lambda}$ es un elemento del respectivo conjunto, es necesario notar además que no hay creación de vacantes en el estado infectado.

¹³ Donde $\theta_t^\Lambda = \frac{V_t^\Lambda}{U_t^\Lambda}$.

las probabilidades de muerte y recuperación para jubilados (mayores de 65 años), π_D^O y π_R^O ; y el “factor de reducción de interacciones sociales” de los jubilados, ρ .

El periodo de tiempo es igual a una semana. El factor de descuento es $\beta = 0,999$, equivalente a una tasa de interés de 5% anual. En los parámetros de la función de *matching*, se ocupa el valor de Guerra-Salas *et al.* (2021), $\alpha = 0,75$, para la elasticidad con respecto al desempleo, mientras que el parámetro de eficiencia, m , es informado por la probabilidad mensual de transición del desempleo al empleo, $f = 0,2579$ (Marcel y Naudon, 2016), y por una usual normalización de la estrechez de mercado, $\theta = 1$, como en Shimer (2005). La probabilidad de separación mensual, $s = 0,0189$ (Marcel y Naudon, 2016), informa la probabilidad exógena de destrucción de empleo, λ . Por su parte, para el poder de negociación del trabajador se ocupa la “condición de *Hosios*”, $\phi = \alpha$, ya que un poder de negociación pequeño de las firmas es consistente con bajas tasas de transición semanales como a las que se apunta en este modelo y, por resultado, un bajo costo por periodo de las vacantes. La normalización de $\theta = 1$, junto con las condiciones de creación y de destrucción de empleo en estado estacionario, D.7 y D.8, identifican de forma única el costo total por periodo de las vacantes, $\kappa + \beta(1 - \delta)q(\theta)(1 - G(\Psi))H$, y el ingreso no laboral, b , respectivamente. En esta misma línea, para identificar por separado el costo variable por periodo de las vacantes, κ , y el costo fijo de contratación, H , se fija este último en $H = 0,1$.

Siguiendo a Sedláček (2014) y a Choi *et al.* (2022) se usa la distribución *log-normal* para la productividad idiosincrática, la cual tiene la propiedad de tener una cola izquierda más gruesa, lo que es consistente con la evidencia empírica sobre los salarios y, además, hace a los “estándares de contratación” y a los “estándares de no separación” más sensibles a las variaciones, en este caso, de la pandemia. La esperanza incondicional está normalizada a uno, lo que implica $\mu = -\sigma^2/2$, y se usa $\sigma = 0,346$ (Choi *et al.*, 2022). Se aproxima la distribución *log-normal* por una grilla de 501 puntos centrada en la media y con largo igual a $3,5\sigma$ (a cada lado). Los parámetros calibrados son tal que en estado estacionario implican una productividad de reserva ubicada en el límite inferior de la grilla, i.e., las relaciones laborales son siempre privadamente eficientes y no existe un estándar mínimo, de contratación o de no separación endógena, en ausencia de la pandemia.

El valor de continuación de la muerte, D , es tal que se apunta a un valor de una vida igual a 5000 veces el salario promedio pre-pandémico como en Kapička y Rupert (2021), lo que es equivalente a USD \$4,4 millones¹⁴, valor en el rango del 90% de confianza del calculado por

¹⁴ Según datos de la Encuesta Suplementaria de Ingresos, ESI 2019, del Instituto Nacional de Estadísticas, INE, que ubica el ingreso medio mensual, de las personas ocupadas, en \$620,528 pesos chilenos, disponible en <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/ingresos-y-gastos/>. Se toma, también, un tipo de cambio de \$702,63 pesos por dolar, en 2019, informado por el Banco Central de Chile, disponible en <https://si3.bcentral.cl/Siete/>

Banzhaf (2021)¹⁵. Explícitamente, la diferencia entre D y el valor de estar empleado, para un trabajador, es igual a USD \$4,4 millones en el modelo. Ya que no se puede identificar de manera conjunta el costo de infección c , y el valor de continuación de la muerte, se fija $c = 0$.

Las probabilidades de recuperación y de muerte, tanto de jóvenes como de jubilados, son fijadas siguiendo a Verity *et al.* (2020) quienes señalan un ratio de muertes sobre casos de 1,38%, diferenciado en 0,318% para menores de 60 años y 6,38% para mayores de 60 años. Junto con lo anterior, se consideran 14 días desde la confirmación de la infección hasta la muerte o recuperación de la enfermedad (Canals *et al.*, 2021). De este modo $\pi_D = 0,318\% * (7/14)$, $\pi_D^O = 6,38\% * (7/14)$, y $\pi_R = (7/14) - \pi_D$, $\pi_R^O = (7/14) - \pi_D^O$.

Las tasas de contagio de empleados, desempleados y jubilados son calculadas tomando en cuenta un número de reproducción efectivo $\mathcal{R}_0 = 2,6$, lo que es consistente con lo calculado por el grupo ICOVID Chile (MinCiencia, 2020) y cercano también al estimado por Canals *et al.* (2020). Se ocupa un ratio $S^U/S^E = 0,65$, el que está en un valor intermedio entre 0,288 ocupado por Kapička y Rupert (2021) y 0,96 ocupado por Bradley *et al.* (2021). Se fija el parámetro de reducción de interacciones sociales, de los jubilados, en $\rho = 1,0$, lo que implica igual contacto con la masa de infectados por parte de desempleados y jubilados. Usando la ecuación B.23 se identifican de forma única S^U y S^E .

Se fija el parámetro de la licencia médica en $\eta = 0,795$, considerando que en 2020 la SUSESO¹⁶ informa un 97,5% de los trabajadores afiliados a un sistema previsional con acceso a licencia médica¹⁷, y que 81,6% de los días otorgados en las licencias médicas por COVID-19 fueron pagados¹⁸.

El parámetro de protección, de esta adaptación del modelo SEIR generalizado, se fija en $\alpha_p = 0,0415$, consistente con una disminución rápida del número de reproducción efectivo como lo calculado por el grupo ICOVID Chile (MinCiencia, 2020). La cantidad exógena de infectados en $t = 0$ se fija en $\epsilon = 1 * 10^{-5}$, para generar el *peak* de la pandemia un número de semanas adelante consistente con lo visto durante la primera ola.

Los flujos de transición entre estados de etáeros son fijados tal que se apunta a un promedio

¹⁵ Banzhaf (2021) estiman, en un estudio que sintetiza los resultados de seis modelos distintos, “The Value of Statistical Life” igual a siete millones de USD, con un intervalo de confianza del 90% entre 2,4 y 11,2 millones de USD.

¹⁶ Superintendencia de Seguridad Social de Chile.

¹⁷ En Chile las licencias médicas son pagadas por: el Fondo Nacional de Salud, FONASA; las Instituciones de Salud Previsional, ISAPRE; y las Cajas de Compensación de Asignación Familiar, C.C.A.F.

Datos de los afiliados a FONASA e ISAPRE fueron obtenidos de la Estadísticas Nacionales de Licencias Médicas y Subsidio de Incapacidad Laboral 2020, publicadas por SUSESO, disponibles en <https://www.suseso.cl/608/w3-propertyvalue-10364.html>. Los datos de los afiliados a C.C.A.F fueron obtenidos de las Estadísticas de la Seguridad Social 2020, disponibles en el mismo sitio web.

¹⁸ Estadísticas Nacionales de Licencias Médicas y Subsidio de Incapacidad Laboral 2020.

de 3200 nuevos jubilados por semana durante 2019¹⁹, lo que identifica el parámetro δ . Luego, la tasa de nacimientos, ζ , y la probabilidad de muerte natural, ξ , son fijadas de manera de que la fuerza laboral y la cantidad de jubilados permanece constante en estado estacionario, i.e., $\zeta = \delta$ y $\xi = \delta/O^{ES}$ ²⁰. Además, se ha supuesto una fuerza laboral de 9,7 millones²¹ y una población mayor de 65 años de 2,26 millones en 2019²². El ingreso no monetario de los jubilados, b_0 , es fijado en dos tercios del ingreso no laboral de los trabajadores.

En la tabla 4.1 se encuentran los resultados de la calibración base.

Las bajas tasas de transición, entre empleo y desempleo, de la economía chilena prepandémica, reportados por Marcel y Naudon (2016), llevados a tiempo discreto semanal, implicarían un costo esperado de llenar una vacante (lado derecho de la ecuación D.7) muy alto, a menos que el costo por periodo de las vacantes sea pequeño. El bajo valor del costo de las vacantes implica un valor alto del ingreso no laboral, b . La intuición de esto proviene de Ljungqvist y Sargent (2017) quienes señalan que un bajo valor de “The fundamental surplus”, en este caso igual a $\mathbb{E}[x|x > \Psi] - b$, es un límite superior de lo que las firmas pueden destinar a la creación de vacantes, por lo que necesariamente las bajas tasas de transición semanal implican un alto valor de b . Esta relación entre un costo de vacantes bajo y un bajo nivel de utilidades para las firmas también fue advertido por Hagedorn y Manovskii (2008). Junto con esto, un bajo nivel de utilidades para las firmas, como ha sido advertido por Shimer (2005), Hagedorn y Manovskii (2008) y Ljungqvist y Sargent (2017), es condición necesaria para que el modelo responda con una volatilidad adecuada a las variaciones del producto. En este caso, con un valor del ingreso no laboral como el descrito, se genera una alta volatilidad de la tasa de desempleo y la creación de vacantes ante pequeñas variaciones de la cantidad de infectados (lo que hace variar el excedente del *match*). Esto es consistente con lo observado durante la primera ola de la pandemia, en que la cantidad de infectados activos no sobrepasó los 100 000. Esta calibración, con un alto valor del ingreso no laboral, es similar a lo realizado por Sedláček (2014) para datos de la economía estadounidense, y por Choi *et al.* (2022) para datos de la economía chilena.

¹⁹ Según datos de la Superintendencia de Pensiones, disponible en https://www.spensiones.cl/safpstats/stat_s/.sc.php?_cid=17.

²⁰ Donde O^{ES} identifica a la cantidad de jubilados de estado estacionario.

²¹ según datos del INE para 2019, publicados por el Banco Central, disponible en <https://si3.bcentral.cl/siete>.

²² Según datos del INE, disponible en <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales>.

Tabla 4.1: Resultado de calibración

Parámetro	Descripción	Valor
Parámetros Mercado Laboral		
α	elasticidad fn <i>matching</i>	0,7500
m	eficiencia fn <i>matching</i>	0,0724
β	factor de descuento	0,9990
λ	prob exógena destrucción empleo	0,0046
ϕ	poder de negociación trabajador	0,7500
κ	flujo de costo vacantes	0,0058
H	costo fijo de contratación	0,1000
b	ingreso no laboral	0,9567
Parámetros Función de Distribución		
μ	media de la log-productividad	-0,0599
σ	desviación estándar de la log-productividad	0,3460
Parámetros Infección		
η	parámetro licencia médica	0,7950
c	costo no monetario infección	0,0000
D	valor de continuación de la muerte	-4249,8
π_D	prob muerte < 65 años	0,0016
π_R	prob recuperarse < 65 años	0,4984
S^U	tasa contagio desempleados	0,7535
S^E	tasa contagio empleados	1,1592
α_p	parámetro de protección	0,0415
ϵ	cantidad exógena inicial infectados	$1 * 10^{-5}$
Parámetros Heterogeneidad Etárea		
δ	probabilidad de retiro	$3,3732 * 10^{-4}$
ξ	probabilidad muerte natural	$1,4477 * 10^{-3}$
ζ	tasa de nacimientos a la fuerza laboral	$3,3732 * 10^{-4}$
b_0	flujo de utilidad jubilados	0,6378
π_D^O	prob muerte > 65 años	0,0319
π_R^O	prob recuperarse > 65 años	0,4681
ρ	factor interacciones sociales jubilados	1,0000

Capítulo 5

RESULTADOS

Se presentan los resultados del modelo con la calibración base del capítulo 4. Se verá que el modelo se ajusta de manera adecuada a la dinámica epidemiológica de la primera ola de la pandemia en Chile, a la vez, se ajusta bien a la dinámica del mercado laboral en el mismo periodo.

Se analizan los distintos elementos y los mecanismos causales, a través del cual el alza de contagios provoca una caída en el excedente esperado de las relaciones laborales, para luego concluir como estos mismos mecanismos provocan un aumento de los estándares para la contratación y para la mantención de las relaciones laborales, lo que afecta negativamente a la creación y destrucción de empleo.

5.1. Equilibrio

5.1.1. Infectados Activos

En la figura 5.1.a se puede ver la evolución de la pandemia, en particular del número de infectados activos entre la fuerza laboral pre-pandémica (9,7 millones) más la población mayor a 65 años (2,26 millones), lo que es igual a poco menos de doce millones de personas. El *peak* de la infección se alcanza en la semana 21, es decir, con un desarrollo más largo que en la realidad, ya que el *peak* de la primera ola en Chile se alcanzó unas catorce semanas después del primer caso confirmado. En el máximo, el modelo produce 53 608 infectados activos, lo que ajustado a una población de 19 millones implica poco más de 85 000, cifra que es similar comparado con los 80 000 a 100 000 que reporta MinCiencia (2020) (ver figura

A.5.b), sin embargo, más bajo si se considera el sub-reporte de casos²³. Cabe mencionar que el retraso en el *peak*, junto con la menor cantidad de infectados del modelo, implica que en la realidad el virus tuvo un poder de contagio mayor al que resulta en este trabajo.

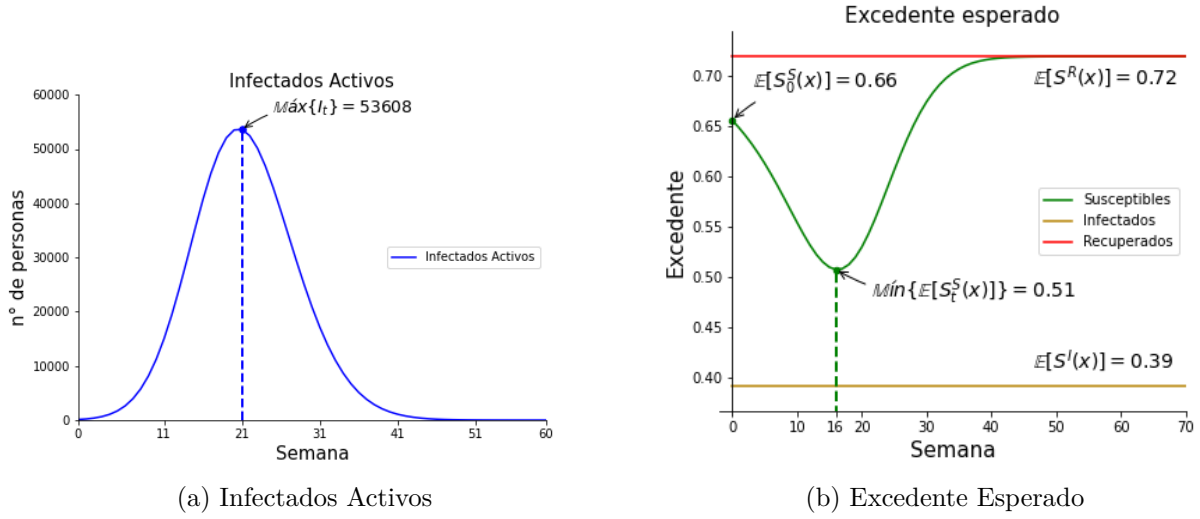


Figura 5.1: Equilibrio del modelo

5.1.2. Excedente esperado

En la figura 5.1.b se observa la variación del excedente esperado de una relación laboral, entre un trabajador en cada estado de la infección y una firma. En el anexo E.1 se realiza un cálculo del excedente esperado, en forma reducida y de manera análoga a como es usualmente visto en libros de texto para el caso de recuperados e infectados, y se expresa como una “ley de movimiento” para el caso de los susceptibles.

El excedente con un trabajador infectado es menor incluso que el mínimo del excedente con un trabajador susceptible. En la ecuación E.2 se observa que esto se debe a: en primer lugar, al parámetro de la licencia médica, η , que multiplica a la productividad promedio, o esperada; en segundo lugar, la probabilidad de que la productividad sea mayor a la de reserva, $(1 - G(\Psi^I))$, también disminuye en comparación con los recuperados; en tercer lugar, el efecto negativo se contrarresta en algo, debido a la probabilidad de que el trabajador se recupere y el valor esperado del *match* aumente.

En el caso de los susceptibles, el excedente baja en el instante 0 desde su valor pre-pandémico de 0,72 hasta 0,66, alcanza un mínimo en la semana 16 igual a 0,51, y vuelve a su nivel pre-pandémico conforme la infección se extingue, posterior a la semana 40.

²³ Canals *et al.* (2020) señalan un sub-reporte de casos importante durante la primera ola, de alrededor de 50%.

Desde el anexo se reescribe aquí la ecuación de la ley de movimiento del excedente esperado, en el estado susceptible²⁴:

$$\begin{aligned} \tilde{S}(\Psi_t^S) = & (1 - G(\Psi_t^S)) \left[y^S - b + \beta(1 - \delta)(1 - \lambda)\pi_t^{EI} \tilde{S}(\Psi^I) + f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O) \right. \\ & \left. + \beta(1 - \delta) \left((1 - \pi_t^{EI})(1 - \lambda) - (1 - \pi_t^{UI})p(\theta_t^S)\phi \right) \tilde{S}(\Psi_{t+1}^S) \right] \end{aligned} \quad (\text{R.1})$$

En el mismo anexo, la figura E.1 muestra la evolución en el tiempo de distintas componentes de la ecuación R.1. El 1^{er} cuadrante de la figura (superior izquierda), muestra la variación de la productividad media neto del ingreso no laboral, $y^S - b$, la cual tiene un efecto positivo con el aumento de contagios, con un alza de poco más de 0,015. En el 2^o cuadrante (superior derecha), se observa la evolución del costo relativo de infección, definido como $f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O)$, este es claramente negativo, muy superior al efecto de otros componentes con una caída de 0,03, es decir, 2 veces mayor en términos absolutos que lo descrito en el primer cuadrante. En 3^{er} lugar (cuadrante inferior izquierda), se encuentra el término $\beta(1 - \delta) \left((1 - \pi_t^{EI})(1 - \lambda) - (1 - \pi_t^{UI})p(\theta_t^S)\phi \right)$, llamado aquí “efecto infectados activos”, que multiplica al excedente esperado un periodo adelante²⁵. El aumento de contagios provoca en este factor un alza, lo que se debe a que la probabilidad de encontrar trabajo al periodo siguiente, dado que el desempleado no se contagia, es menor que la probabilidad de que el *match* no sea destruido y el trabajador continúe como susceptible. El efecto del tercer cuadrante no es comparable al de los dos anteriores, ya que este multiplica también al valor esperado del excedente un periodo adelante. Los primeros tres cuadrantes representan los términos dentro del paréntesis, en el lado derecho de la ecuación R.1. Por último, el 4^{to} cuadrante (inferior derecho) representa al factor multiplicativo $(1 - G(\Psi_t^S))$, fuera del paréntesis, que representa la probabilidad de que la productividad del trabajador sea mayor a la de reserva. Esta probabilidad disminuye con el alza de contagios hasta en 3% durante el *peak*, aproximadamente, lo que depende únicamente del alza de la productividad de reserva. Todos estos elementos impactan el valor del excedente también en el futuro, ya que el tamaño del excedente esperado en el periodo $t+1$ depende del valor del mismo en el periodo t (despejando la ecuación, colocando el valor del excedente en el periodo t del lado izquierdo).

La figura E.2, del mismo anexo, muestra el efecto, en el valor esperado del excedente, del aumento de la probabilidad de contagio de los empleados. En la ecuación R.1 es posible

²⁴ Donde se ha definido, $\tilde{S}(\Psi_t^\Lambda)$ como el excedente esperado en cada estado de infección, $y^\Lambda \equiv \mathbb{E}[x|x > \Psi_t^\Lambda]$ como la productividad promedio de cada grupo de empleados y $f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O) \equiv \beta(1 - \delta)(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^S + \beta\delta(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^O$ como el “costo relativo de infección”, el que depende del nivel de infección y de la diferencia entre las tasas de infección de empleados y desempleados.

²⁵ Este término se asemeja al del caso base (recuperados), el que aparece en el denominador de la ecuación E.1 y multiplica el excedente esperado en la ecuación 6.a. En el caso de los susceptibles se ponderan los elementos $(1 - \lambda)$ y $p(\theta_t^S)\phi$ por la probabilidad de no infectarse de empleados y desempleados respectivamente. En este factor en general se conjugan dos efectos. Existe un efecto positivo en el excedente, debido a la probabilidad de que una relación laboral se mantenga al periodo siguiente ($1 - s_t^S$, ver ecuación 2.b). Por otro lado, en caso de no concretarse una relación laboral, los desempleados tienen la opción de esperar un periodo, y con probabilidad f_t^S (ver ecuación 2.a) llevarse una fracción ϕ del excedente, lo que contemporáneamente genera un efecto negativo.

armar el término $\beta(1 - \delta)(1 - \lambda) (\pi_t^{EI} \tilde{S}(\Psi^I) + (1 - \pi_t^{EI}) \tilde{S}(\Psi_{t+1}^S))$ (presente también en la ecuación 8.a). Esta expresión representa el valor descontado del excedente esperado un periodo adelante, dado que la relación laboral no es destruida exógenamente, considerando los casos en que el trabajador se infecta o continua susceptible. Se compara con el valor de la misma expresión, pero imponiendo que la probabilidad de infección es igual a cero, es decir, $\beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \tilde{S}(\Psi_{t+1}^S)$. La primera expresión mencionada es menor una vez que el número de infectados aumenta, sin embargo, dado que este nivel de infección se mantiene relativamente pequeño, esta caída es despreciable descendiendo en 0,0012, es decir, unas 20 veces menor que el descenso de la función de costo relativo de utilidad.

Se concluye que la pérdida en el valor del excedente se debe principalmente a: (i) el aumento de la productividad de reserva, es decir, al alza de estándares para crear (estándar de contratación) o mantener relaciones laborales (estándar de no destrucción); (ii) y la función de costo relativo de infección. El primer factor actúa a través del valor esperado del excedente, un periodo adelante, y de la baja en la probabilidad de tener una realización de la productividad mayor a la de reserva. Además, la productividad de reserva genera un refuerzo con la caída del valor del excedente, en donde el descenso del valor del *match* provoca un aumento en la productividad de reserva, y el aumento de esta última genera una caída en el valor del primero. El segundo factor, representado por la función $f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O)$, está determinado por el nivel de infección, además, la pérdida de utilidad de jóvenes y jubilados, Δ_{t+1}^S y Δ_{t+1}^O , están afectadas por la imposibilidad de buscar empleo mientras se está infectado, la baja en el ingreso al no poder trabajar y, principalmente, por el riesgo de fallecer de la enfermedad en caso de infectarse. Cabe mencionar que este segundo elemento también afecta el valor de la productividad de reserva y el valor del excedente un periodo adelante, por lo que además del efecto directo aquí descrito tiene otros efectos amplificadores indirectos.

5.2. Dinámica del mercado laboral

Recuerde que el equilibrio en el mercado de los recuperados es invariante en el tiempo e igual al equilibrio estacionario pre-pandémico, además, en el mercado de los infectados no hay creación de empleo.

5.2.1. Estándares de contratación y de no destrucción

En el panel derecho de la figura 5.2 se encuentra el comportamiento en el tiempo de la productividad de reserva de recuperados, infectados y susceptibles. La productividad de reserva, que fijan tanto las firmas como los empleados infectados, es igual a 0,51 (invariante en el tiempo), cantidad muy superior a la productividad de reserva pre-pandémica, incluso, mayor al *peak* de la productividad de reserva de los susceptibles. En la ecuación 7.d se observa

que el principal motivo de esta alza, es la caída del excedente esperado con un trabajador infectado²⁶, el que a su vez depende de la baja en el ingreso, debido a que el parámetro de la licencia médica, η , es menor que uno (ver ecuación 7.a).

Por otra parte, la productividad de reserva para susceptibles, aumenta en la semana uno desde su valor pre-pandémico de 0,28 hasta 0,34, luego sigue aumentando conforme aumentan los infectados activos hasta un valor de 0,49, máximo que se produce en la semana 17.

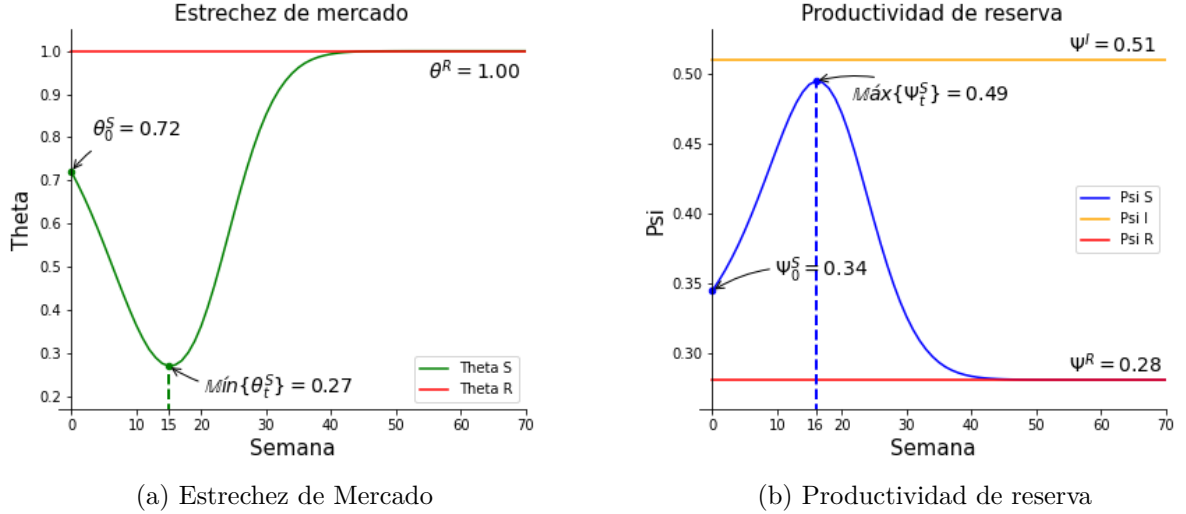


Figura 5.2: Productividad de reserva y estrechez de mercado

Ya que la productividad de reserva está definida como el argumento que iguala a cero el excedente, i.e. $S(\Psi_t^S) = 0$, los factores que detonan su alza se explican de manera análoga a los cuales explican la caída del excedente esperado. Se puede reescribir la condición de destrucción de empleo de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
\Psi_t^S = & b + \beta(1 - \delta)(1 - \pi_t^{UI})p(\theta_t^S)\phi\bar{S}(\Psi_{t+1}^S) \\
& - \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \left(\pi_t^{EI}\tilde{S}(\Psi^I) + (1 - \pi_t^{EI})\tilde{S}(\Psi_{t+1}^S) \right) \\
& - f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O)
\end{aligned} \tag{R.2}$$

En la figura E.4, en anexo, se ve la evolución en el tiempo de distintos componentes de la ecuación R.2. En este caso, todos los términos son aditivos y directamente proporcionales a la productividad de reserva. En el primer cuadrante (arriba a la izquierda), se ve la evolución del segundo término de la primera fila de la ecuación R.2. Ante el aumento de contagios, este término hace decrecer a la productividad de reserva, debido a la caída en la estrechez de mercado. En el segundo cuadrante (arriba a la derecha), se muestra la evolución del término de la segunda fila de la misma ecuación. Este término provoca una disminución en la productividad de reserva. Cabe notar, que este término corresponde principalmente a

²⁶ Representado en la ecuación por el término $\eta \int_{\Psi^I}^{\infty} (s - \Psi^I) dG(s)$.

la disminución en el valor del excedente de los susceptibles, ya que, como se explicó en la sección anterior, el efecto del aumento de la probabilidad de contagio de un empleado es despreciable (ver figura E.2). En el tercer cuadrante (abajo a la izquierda), se muestra el alza en el costo relativo de infección, representado, al igual que en el caso del excedente esperado, por la función $f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O)$, el cual contribuye al alza de la productividad de reserva. En el cuadrante restante, simplemente se muestra nuevamente la productividad de reserva, la cual es la suma de los tres elementos anteriores más el ingreso no laboral, b .

Claramente, el alza de la productividad de reserva se debe a: la caída del excedente del *match* y al aumento del costo relativo de infección. Además, el aumento del costo relativo de infección y de la productividad de reserva afectan negativamente al valor esperado del excedente, mostrando el refuerzo entre la caída de esta última variable y el aumento de la productividad de reserva.

5.2.2. Creación de empleo

En el panel izquierdo de la figura 5.2 se puede ver el comportamiento en el tiempo de la estrechez de mercado en los recuperados y susceptibles. La estrechez en el mercado de los susceptibles, normalizada a uno en el equilibrio pre-pandémico, cae al inicio de la infección, momento que puede interpretarse como aquel en que se conocen por primera vez gran cantidad de casos activos o un aumento significativo de estos. Cae hasta un valor de 0,72, luego continua descendiendo conforme aumentan los contagios, hasta el mínimo de 0,27 que se alcanza en la semana 16. Posterior al *peak*, comienza una lenta recuperación volviendo a valores pre-pandémicos cerca de la semana 40.

Si se despeja, de la condición de creación de empleo, el inverso de la probabilidad que tiene la firma de llenar una vacante se obtiene²⁷:

$$\frac{K}{q(\theta_t^S)} = (1 - \pi_t^{UI}) \left[(1 - \phi) \tilde{S}(\Psi_t^S) - (1 - G(\Psi_{t+1}^S)) H \right] \quad (\text{R.3})$$

En la figura E.3 del anexo E.2 se ha descompuesto la condición de creación de empleo, expresada en la ecuación R.3, mostrando la variación a través del tiempo de tres elementos de esta, que son directamente proporcionales a la estrechez de mercado. En el 1^{er} cuadrante (arriba a la izquierda), se encuentra la variación de la fracción $(1 - \phi)$ del excedente esperado, la cual se observa que tiene una caída conforme aumenta el número de contagios. Esta disminuye en poco más de 0,05 en comparación con su nivel pre-pandémico. En el 2^{do} cuadrante (arriba a la derecha), se muestra un término llamado aquí “variación costo fijo”, que corresponde a la expresión $-(1 - G(\Psi_{t+1}^S))H$. Esta expresión es la parte de la variación del costo fijo esperado de contratación, producto exclusivamente del alza en el estándar de contratación.

²⁷ Donde $K \equiv \frac{\kappa}{\beta(1 - \delta)}$

Este termino afecta positivamente la creación de empleo, debido a que, dado un valor de la estrechez de mercado en el periodo t , el alza del estándar de contratación implica que se hace menos probable pagar el costo fijo, lo que aumenta la creación de empleo. Este término aumenta en 0,003, es decir, es una magnitud despreciable comparado con el impacto de los otros componentes. En el 3^{er} cuadrante (abajo a la izquierda), se muestra la probabilidad de no infectarse de un desempleado, $(1 - \pi_t^{UI})$, esta distribuye sobre los dos términos anteriores, y baja en 0,004. Es decir, que en el punto de más altos contagios hace decrecer el inverso de la probabilidad, $q(\theta_t^S)$, en 0,4 % en el periodo respectivo. El cuarto cuadrante (abajo a la derecha), simplemente muestra la evolución de la estrechez de mercado en el tiempo.

Se puede concluir, entonces, que la caída en la estrechez de mercado se debe a dos factores: (i) la caída del excedente esperado, por lo tanto, cae el beneficio esperado de llenar una vacante (lado izquierdo de la ecuación 8.c); (ii) el aumento del tiempo que se debe mantener una vacante abierta hasta llenarla (producto del aumento en contagios), por lo tanto, aumentando el costo variable esperado (fracción del lado derecho en la ecuación 8.c). Por el solo hecho de la caída en el valor del excedente, la estrechez de mercado hubiera caído, por lo que, el aumento del costo variable provoca una caída adicional en la misma. Sin embargo, el efecto de este último es marginal, ya que, por ejemplo, en el *peak* de la infección, una caída de 0,4 % en el inverso de la probabilidad de llenar una vacante para la firma, implica una caída de 0,5 % en la estrechez de mercado. Por esto, la reducción de θ_t^S se debe principalmente a la caída del excedente esperado, cuyos factores se explicaron en la sección anterior.

La abrupta alza inicial de la productividad de reserva es consistente con la alta destrucción de empleo observada al inicio de la pandemia como, por ejemplo, señalan Kahn *et al.* (2020) para Estados Unidos y Bradley *et al.* (2021) para Reino Unido. Junto con esto, su alza correlacionada con el número de infectados activos puede ser interpretado como un alza en los estándares de contratación durante la pandemia, en línea con lo descrito durante crisis económicas por Sedláček (2014) y Choi *et al.* (2022), lo que en efecto fue descrito por Villena-Roldán (2020) durante la primera ola en Chile.

Entonces, el alza de la productividad de reserva, provocado por el aumento de contagios, crea un estándar más alto, para la no destrucción de las relaciones laborales y para la concreción de nuevas relaciones (estándar que en este modelo es idéntico en ambos casos). El alza en el “estándar de no separación” implica que algunas relaciones laborales, que en tiempos “normales” serían rentables, no lo son en el contexto de la pandemia, lo que explica la enorme pérdida de empleos que se produjo en 2020 (dos millones de empleo, ver figura A.1.a). Mientras que el alza en el “estándar de contratación”, explica por una parte la fuerte alza en el desempleo, y podría explicar, también, la gran caída en la fuerza de trabajo durante la pandemia.

5.2.3. Eficiencia del mercado laboral

En la figura 5.3 se observa la evolución de las probabilidades de separación y de contratación, las cuales, como es lógico, siguen de cerca a la productividad de reserva, y en el caso de f_t^S también a la estrechez de mercado.

La probabilidad de separación de los susceptibles tiene un alza inicial, desde su nivel pre-pandémico de 0,48 % hasta 0,67 %, sube conforme lo hacen los estándares de no separación hasta 3,57 % en la semana 15 de la infección. Por otro lado, la probabilidad de separación en el mercado de los infectados es más alta que el *peak* de la misma para el mercado de los susceptibles, debido al estándar más alto. Esta probabilidad se mantiene constante en 4,21 %. En el mercado de los recuperados, la probabilidad de separación se mantiene constante en el nivel pre-pandémico.

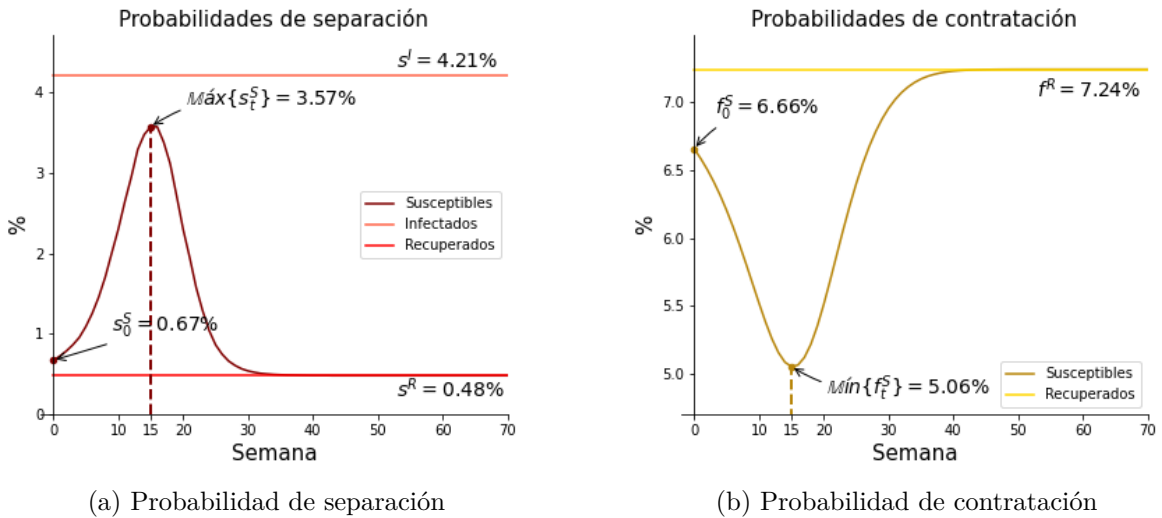


Figura 5.3: Probabilidades de transición en el mercado laboral

Por otro lado, la probabilidad de contratación de los susceptibles cae inicialmente, desde el nivel pre-pandémico de 7,24 % hasta 6,66 %, luego continúa descendiendo hasta 5,06 % en la semana 15. Por su parte, la probabilidad de contratación de los recuperados se mantiene constante en el nivel pre-pandémico.

5.2.4. Tasa de desempleo y fuerza de trabajo

En la figura 5.4 se muestra la evolución del desempleo para susceptibles, infectados, recuperados y el desempleo total. La tasa de desempleo alcanza un máximo de 27,2 % en la semana 21 de la infección, esto es, la misma semana del *peak* de infectados activos. Dado el

tamaño de la fuerza laboral anterior a la pandemia, de 9,7 millones de personas, este nivel de desempleo implica una cantidad de empleados en el *peak* de 7,06 millones de personas (figura 5.4.b), lo que es muy similar a lo reportado por INE²⁸ (ver figura A.1.a). La tasa de desempleo en el modelo es muy superior al 13,1% que reporta la misma institución (ver figura A.1.b). Esto último se debe a que en este modelo no se considera éxodo desde la fuerza de trabajo, por lo que todo trabajador que pierde su empleo se mantiene como desempleado. Esto no fue así en la realidad, durante la primera ola, donde la fuerza de trabajo disminuyó desde 9,7 millones, que aquí se supone constante, a 8,1 millones.

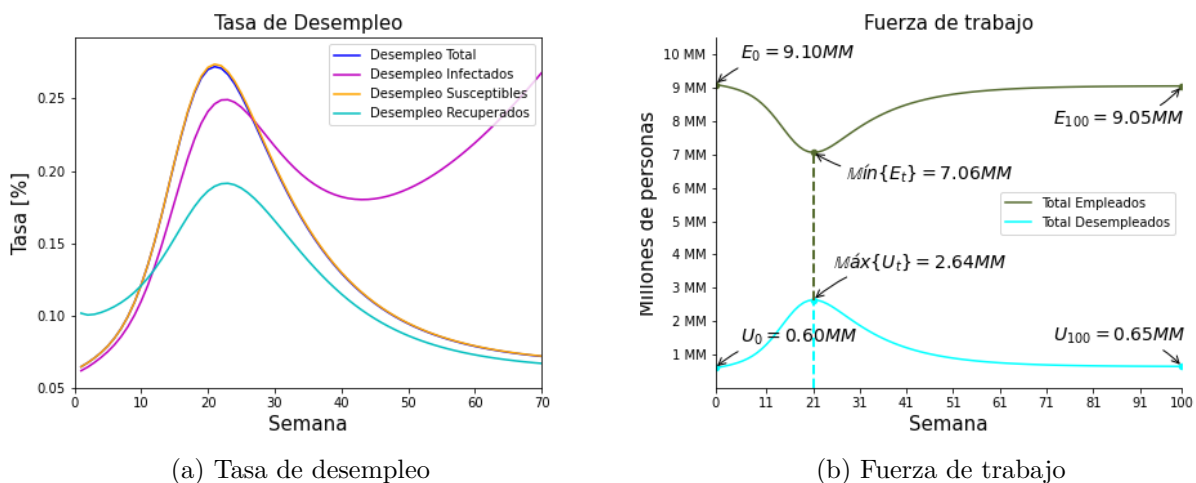


Figura 5.4: Tasa de desempleo y fuerza laboral

Tabla 5.1: Evolución Desempleo

	Shock inicial	Máximo	Semana
Tasa desempleo total	6,46 %	27,2 %	21
Tasa desempleo susceptibles	6,47 %	28,17 %	21
Tasa desempleo infectados	5,19 %	24,92 %	23
Tasa desempleo recuperados	10,17 %	19,14 %	23
Tasa desempleo protegidos	6,22 %	26,82 %	21

En la tabla 5.1 se observa que, en general, para todos los grupos existió un alza inicial del desempleo²⁹. La tasa de desempleo total sube desde 6,22% hasta 6,46%, lo que implica una destrucción en el tiempo inicial de la pandemia de cerca de 22 000 empleos. La única excepción es la tasa de desempleo de los infectados, la que baja en el momento inicial, lo que se debe a que la probabilidad de infección es mayor para empleados que para desempleados,

²⁸ Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, datos publicados por el Banco Central de Chile, disponibles en <https://si3.bcentral.cl/siete>

²⁹ Se refiere a la tasa de desempleo en la semana 1 (no en la semana 0), ya que para algunos grupos la masa inicial tanto de empleados como desempleados se fijó en cero, es imposible calcular la tasa de desempleo para todos los grupos en la semana cero.

por lo que quienes primero se infectan son quienes están trabajando. También se observa, en los periodos iniciales, un efecto de composición en los recuperados. Este efecto es debido a que los infectados no pueden buscar trabajo y a la alta destrucción de empleo (por el alza de estándares) en el mismo grupo (infectados), por lo que, es más probable que quienes se recuperan lo hagan como desempleados, provocándose una congestión en el mercado de los recuperados. Al igual que para el resto de los grupos, el desempleo en este último mercado (recuperados) sube, sin embargo, hasta alcanzar un máximo mucho menor en comparación con el desempleo total. La tasa de desempleo de los susceptibles tiene una fuerte correlación con el desempleo total, debido a que muy pocas personas se infectan y muchas permanecen como susceptibles o protegidos. En cuanto al grupo de trabajadores protegidos, suponer que enfrentan las mismas probabilidades de transición que los susceptibles provoca que el desempleo de estos tenga una muy alta correlación con el desempleo de los susceptibles, generando el comportamiento antes descrito en el desempleo total.

Por otro lado, el modelo no es capaz de explicar la dinámica de las vacantes. Esto se debe a que al no haber salida de la fuerza laboral, entonces, se genera una congestión de desempleados en ambos mercados (susceptibles y recuperados), lo que hace más atractivo para las firmas abrir vacantes, debido al aumento en la probabilidad de llenarlas. No obstante, la estrechez de mercado baja en el caso de los susceptibles, debido a la gran alza en el desempleo, y no producto de una reducción en el número de vacantes. El caso de los recuperados permite ilustrar de mejor forma el efecto de esta congestión de desempleados. La estrechez, en este último mercado, permanece constante y normalizada a 1, entonces, el aumento del desempleo en este grupo implica un aumento de vacantes en igual cantidad. En el anexo E.3 se encuentra la figura E.5, donde se observa un aumento de vacantes en el modelo. De todos modos, se produce un resultado esperable, ya que las vacantes en el mercado de los recuperados aumentan más que en el de los susceptibles, a pesar de haber una menor tasa de desempleo. Esto se debe a que la estrechez de mercado desciende abruptamente en el último mercado, aumentando el costo de abrir vacantes.

5.2.5. Salarios

El salario de reserva tiene una abrupta alza inicial desde su valor pre-pandémico de 0,46 hasta 0,50. Continúa al alza conforme evolucionan los contagios, hasta alcanzar un máximo de 0,62 en la semana 17, una semana después del *peak* de la productividad de reserva. Esto implica un alza de 34,78 % por sobre el salario de reserva pre-pandémico. De la ecuación D.4, en anexo, se nota que el salario de reserva es igual a:

$$\bar{\omega}_t^S = \Psi_t^S + \beta(1 - \delta)(1 - \lambda)(1 - \phi) \left[\pi_t^{EI} \bar{S}(\Psi^I) + (1 - \pi_t^{EI}) \bar{S}(\Psi_{t+1}^S) \right]$$

Es decir, su alza se explica por las mismas razones que la productividad de reserva. Es un poco más alto debido al segundo término del lado derecho de la ecuación. La variación a lo

largo de la pandemia de este último término es despreciable, debido a que la probabilidad de contagio se mantiene relativamente baja (ver figura E.2).

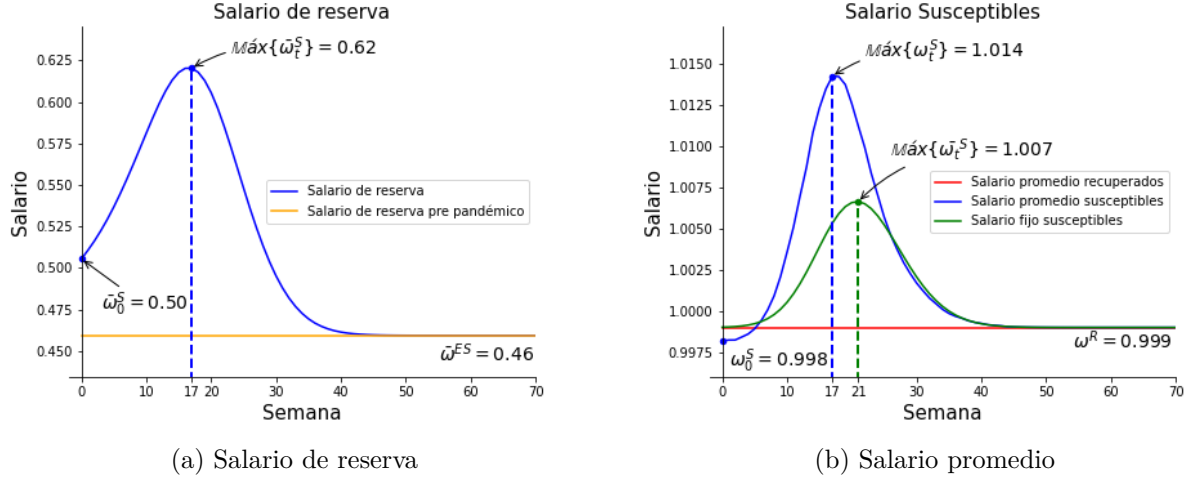


Figura 5.5: Salario

En la figura 5.5.b se observa que el salario promedio de los trabajadores susceptibles, que es negociado periodo a periodo, tiene un alza pequeña y fuertemente correlacionada con el aumento de contagios. Alcanza un máximo en la semana 17, con un alza total de 1,52 % sobre el salario pre-pandémico, el cual tiene un valor de 0,999.

Adicionalmente, en la figura se muestra, en color verde, el sueldo de un trabajador con productividad igual a uno, llamado aquí “salario fijo”. Se observa una variación menor, hasta 1,007, en la misma semana del *peak* de infectados activos. Se muestra así, que la variación de la productividad promedio, producto del alza de estándares, explica la mitad del alza en el salario.

El salario promedio puede ser reescrito como:

$$\begin{aligned} \omega_t^S(y) = & (1 - \phi)b + \phi y \\ & + \phi \theta_t^S \kappa + \phi \beta (1 - \delta) (1 - \pi_t^{UI}) q(\theta_t^S) H \\ & - (1 - \phi) f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O) \end{aligned} \quad (\text{R.4})$$

En la figura E.6 del anexo E.4 se muestra la variación en el tiempo de cuatro elementos de la ecuación R.4. En el 1^{er} cuadrante (arriba a la izquierda), se observa la variación de la productividad media, expresada como ϕy . En el 2^{do} cuadrante (arriba a la derecha), se observa la variación del costo relativo de infección, expresado como $-(1 - \phi) f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O)$. En el 3^{er} cuadrante (abajo a la izquierda), se muestra la variación del primer término de la segunda fila de la ecuación R.4, llamado aquí “variación costo variable”. Y en el 4^{to} cuadrante (abajo a la izquierda), se muestra la variación del segundo término de la segunda fila de la

misma ecuación, llamado aquí “variación costo fijo”.

Los términos de los dos primeros cuadrantes son contra-cíclicos. El primero, está determinado por el alza del estándar de contratación. El segundo, está determinado por el alza de contagios, por ende, del costo relativo de infección. Es decir, las firmas deben ofrecer salarios más altos, debido al mayor riesgo de infección que poseen los empleados, adicionalmente, se suben los estándares exigidos a quienes buscan empleos, lo que hace subir aún más el salario promedio en la economía. Cada uno de estos factores explica la mitad del alza. Por otro lado, los términos de los cuadrantes inferiores son pro-cíclicos, debido al descenso de la estrechez de mercado que hace más difícil que un trabajador obtenga empleo. A pesar de estas últimas componentes el salario promedio de los susceptibles sube, debido al efecto más agudo de los componentes contra-cíclicos.

5.3. Producto agregado

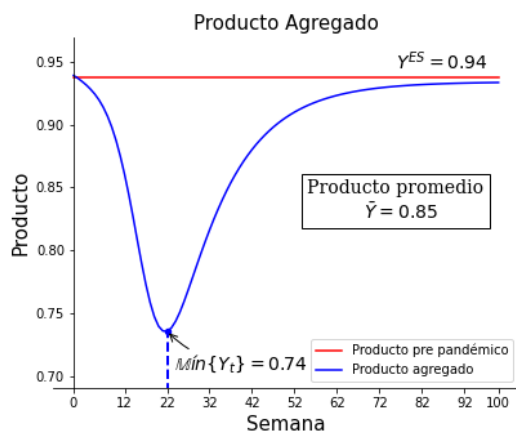


Figura 5.6: Caída en el producto agregado

El producto agregado semanal pre-pandémico es igual a 0,94. Con el alza del desempleo desciende hasta un mínimo de 0,74 en la semana 22, una semana después del *peak* de la tasa de desempleo. Contando un año, es decir 52 semanas, el producto agregado promedio es de 0,85, lo que implica una caída del producto de 9,81 % en comparación con su nivel pre-pandémico.

La pandemia del coronavirus produjo en Chile una recesión económica, 2020 fue el año de menor crecimiento del PIB desde 1999, con 2,3%³⁰. En términos trimestrales,

como se puede ver en la tabla 5.2, el golpe que provocó la pandemia en el producto fue comparable a la crisis financiera de 2008, con una variación negativa de 9,8 % en el segundo trimestre de 2020, en relación al mismo trimestre del año anterior.

³⁰ Disponible en Banco Central: <https://si3.bcentral.cl/Siete>

Tabla 5.2: Variación porcentual del PIB con respecto al mismo trimestre del año anterior
Fuente: Banco Central

	I	II	III	IV
COVID-19 2020	-0,8	-9,8	3,3	20,1
Gran crisis 2008	0,4	-0,8	-8,0	8,8
Crisis Asiática 1998	0,4	-1,7	-4,9	5,8

5.4. Dinámica de la infección

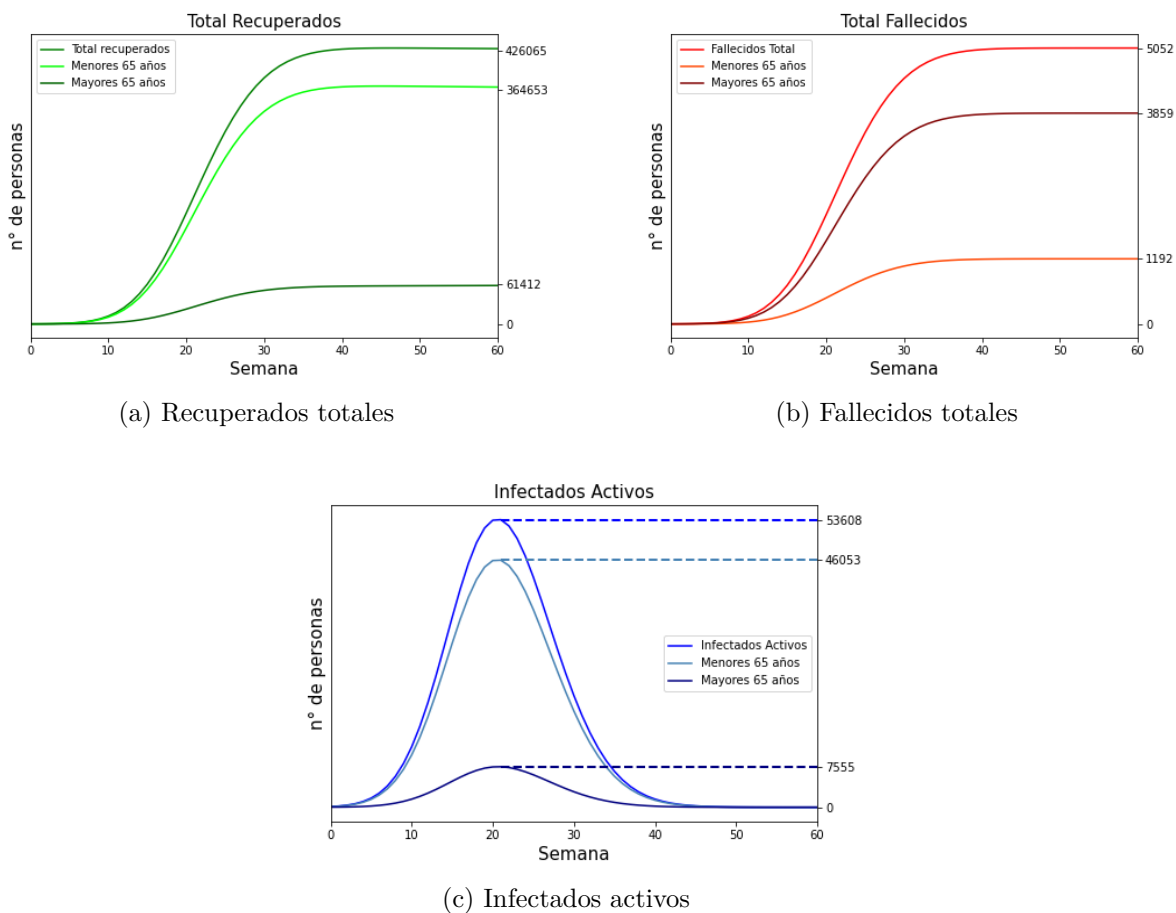


Figura 5.7: Recuperados, fallecidos e infectados activos por edad

En la figura 5.7 y en la tabla 5.3 se observa el impacto heterogéneo de la pandemia en ambos grupos etáreos. Los menores de 65 años son el 81,1 % del total de la población representada, es decir, fuerza de trabajo y mayores de 65 años, sin embargo, suman solo el 23,61 % del total de fallecidos mientras que el 85,59 % de los recuperados, por lo tanto, del total de infectados. Por otro lado, los mayores de 65 años representan el 19,9 % de la población, y sufren 76,39 % de las muertes.

Si bien el número de personas que pasó por la infección y se recuperó es similar, en el modelo, al reportado por MinCiencia (2020) (ver figura A.5.c), donde los recuperados totales sumaban a principios de octubre poco menos de 420 000. Por otro lado, la cifra de fallecidos es equivalente a un 70 % de lo observado hasta misma fecha de 2020. Russell *et al.* (2020) señalan que las divergencias entre países en la mortalidad del COVID-19, medida por “Case Fatality Ratio” (CFR), se deben entre muchos factores a un sub-reporte de casos, por lo que proponen calcular este sub-reporte estimando la cantidad de casos que implicaría un CFR “real” como el calculado por Verity *et al.* (2020). Ya que en este modelo se usa ese valor de la mortalidad por caso, entonces, la menor cantidad de muertes que entrega el modelo es una muestra ineludible de que la calibración entrega una cifra más reducida de casos que lo real.

Tabla 5.3: Evolución de la infección

	Total	Menores 65 años	Mayores 65 años
Total Recuperados	426 065	364 653	61 412
Total Fallecidos	5 052	1 192	3 859
<i>Peak</i> de infectados activos	53 608	46 053	7 555

En la figura 5.8 se observa, en la fila superior, una comparación entre el número de reproducción efectivo del modelo (izquierda) y el número de reproducción efectivo calculado por el grupo ICOVID Chile (MinCiencia, 2020), durante la primera ola. En ambos casos comienza en un nivel cercano a 2,5 (en este modelo $\mathcal{R}_0 = 2,6$), y desciende rápidamente.

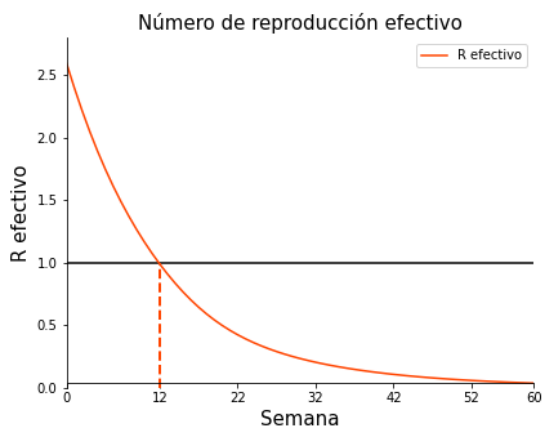
El R efectivo calculado por el grupo ICOVID Chile muestra un intervalo de confianza del 90 % (bandas color celeste) bastante amplio al inicio de la pandemia. Este, desciende bruscamente con las primeras medidas tomadas por el gobierno, como cierre de escuelas, bares y restaurantes; y producto de la percepción de riesgo de la población y medidas de auto-cuidado, como el uso de mascarillas y el lavado de manos. Sin embargo, vuelve a subir luego del relajamiento de las primeras medidas, alcanzando un máximo local los primeros días de mayo, para luego descender por debajo de 1,0 los primeros días de junio. Es decir, el R efectivo se vuelve menor que uno aproximadamente trece semanas luego del primer caso confirmado, manteniéndose posteriormente en un valor cercano a 1,0.

En el modelo, lo que es propio de esta versión básica del modelo SEIR generalizado, el R efectivo desciende en forma monótona volviéndose inferior al límite 1,0 en la semana 12.

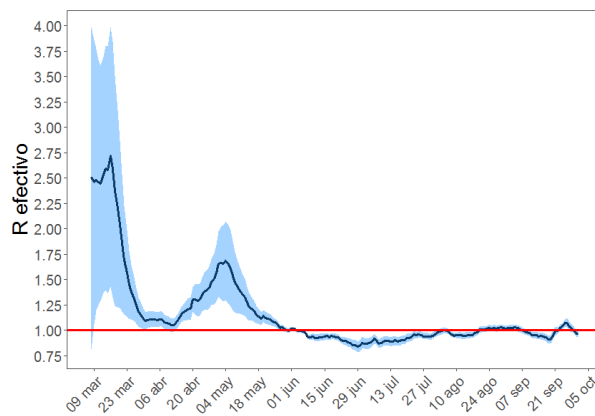
En la familia de modelos SIR, cuanto mayor sea el parámetro \mathcal{R}_0 , entonces, el *peak* de la pandemia será de forma más prematura. Sin embargo, para lograr un número de infectados similar al visto en la realidad, se hace necesario la incorporación del parámetro de protección, α_p . Por lo tanto, esta incorporación mejora la calibración del modelo al capturar otros mecanismos por el cual disminuye el número de reproducción efectivo, como las medidas de auto-cuidado, lavado de manos, uso de mascarillas, diferencias en la percepción de riesgo de

la población, entre muchas otras. Con la incorporación de este parámetro de protección se logra de forma conjunta tener un número de reproducción básico, al inicio de la pandemia, igual al caso chileno, y un número de reproducción efectivo que alcanza un valor menor a 1,0 solo una semana antes del \mathcal{R}_e real.

Por último, en la figura 5.8.c, en la segunda fila, se observa la diferencia entre las tasas de contagio de empleados, desempleados y jubilados. Los primeros enfrentan en el *peak* una probabilidad de contagio de alrededor de 0,64%. Mientras que los dos últimos, que se ha supuesto que realizan un número igual de interacciones sociales, enfrentan una probabilidad en el *peak* de 0,42%.

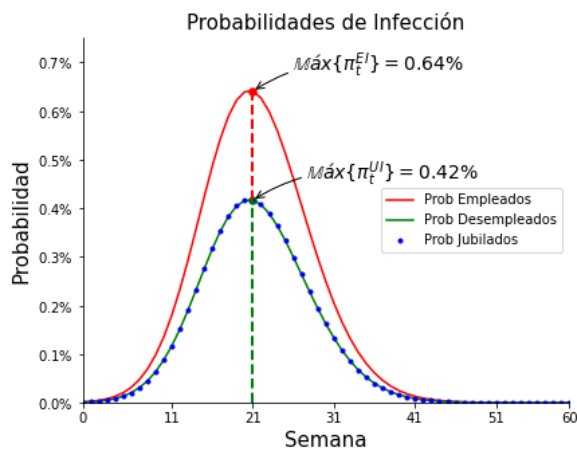


(a) R_e efectivo en el modelo



(b) R_e efectivo durante la primera ola.

Fuente: Elaboración propia con datos del grupo ICO-VID Chile (MinCiencia, 2020)



(c) Probabilidades de infección

Figura 5.8: Número de reproducción efectivo y probabilidades de infección

Capítulo 6

ANÁLISIS Y ROBUSTEZ

En este capítulo se compara el efecto, en el modelo, de la variación de algunos parámetros, como la no incorporación de la heterogeneidad etárea, y un conjunto de parámetros que afectan directamente el “costo relativo de infección”: el valor de continuación de la muerte, D ; la diferencia entre las tasas de contagio de empleados y desempleados, S^E y S^U ; y el parámetro de licencia médica, η . Junto con lo anterior, se verá que el modelo es robusto a la elección de los parámetros epidemiológicos ocupados, como el parámetro de protección, α_p , y el factor de interacciones sociales de los jubilados, ρ . En la tabla 6.1 se pueden ver los distintos equilibrios del modelo ante la variación de algunos parámetros.

6.1. Modelo sin heterogeneidad etárea

Un modelo sin heterogeneidad etárea es un caso particular del modelo base, donde $\delta = \zeta = \xi = 0$, es decir, la población permanecería constante e igual a la fuerza de trabajo. Dado que en la calibración base el parámetro de la probabilidad de jubilación, δ , es marginalmente mayor que cero, entonces, el efecto de variar este parámetro es pequeño. Sin embargo, si no existiera esta “probabilidad de envejecer” (δ), que se interpreta como el riesgo de contraer la enfermedad de la población activa de mayor edad que se encuentra empleada. Entonces, existiría un costo menor de mantenerse empleado, lo que provocaría una tasa de desempleo menor, de 26,04% comparada al 27,2% del caso base, como se puede ver en la tabla 6.1. El resto de resultados del equilibrio serían muy similares al modelo con heterogeneidad etárea, a excepción de la cantidad de fallecidos que sería considerablemente más baja, como se observa en la misma tabla. Cabe notar que el resultado comparable es el porcentaje de la población total, entre paréntesis, ya que sin heterogeneidad etárea la población no incluye a aquellos mayores de 65 años.

La incorporación de la heterogeneidad etárea entrega una riqueza adicional al modelo, permitiendo ajustarse mejor a la evolución de la pandemia, especialmente el número de fallecidos, además de incorporar el costo adicional de mantenerse empleado de los trabajadores de mayor edad.

6.2. Variación del costo relativo de infección

En el capítulo anterior se discutió la importancia del “costo relativo de infección”, representado por la función $f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O) \equiv \beta(1 - \delta)(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^S + \beta\delta(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^O$, la que está determinada por: en primer lugar, la diferencia entre las probabilidades de infección entre empleados y desempleados, por lo tanto, la diferencia entre las tasas de infección de estos dos grupos, S^E y S^U ; y, en segundo lugar, por la pérdida de utilidad de infección, Δ_{t+1}^S y Δ_{t+1}^O , de trabajadores activos y jubilados respectivamente. Estos últimos elementos $(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O)$ son afectados por, el valor de continuación de la muerte, D ; y, en particular en el caso de trabajadores activos, también la imposibilidad de buscar empleo; y la baja en el ingreso a causa de un parámetro de licencia médica menor que uno, $\eta < 1$.

6.2.1. Parámetro de licencia médica

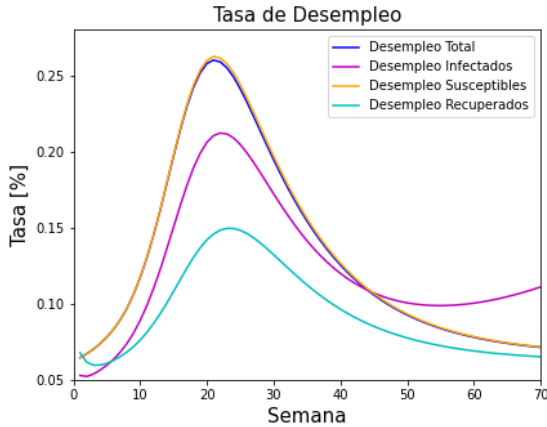


Figura 6.1: Tasa de desempleo. Aumento en el pago de licencia médica.

Se compara el resultado del caso base, al variar el valor del parámetro de licencia médica a $\eta = 0,9$. Es decir, la baja en el ingreso (que es distinto a la utilidad) de los trabajadores al infectarse es considerablemente menos. En la tabla 6.1 se puede ver que la infección tendría un comportamiento casi idéntico al caso base. No obstante, la tasa de desempleo total sería casi 1 % menor, llegando a 26,04 %.

En la figura 6.1 se observa el comportamiento del desempleo. Sería similar, también, en los susceptibles, es decir, también un 1 % menor en este grupo. Por otro lado, sería muy distinto en el caso de recuperados e infectados. El *peak* de la tasa de desempleo de los infectados sería 3,5 % menor, llegando a 21,25 %. Esto, se explica por una menor destrucción de empleo en este grupo (infectados), debido claramente a una mucho menor productividad de reserva, es decir, un menor “estándar de no separación” que llegaría a solo

0,34. Esta menor destrucción de empleo en los infectados haría más probable que los empleados se mantengan en este estado, mientras estén enfermos y se recuperan, lo que evitaría la saturación de desempleados en el mercado de los recuperados, al inicio de la infección, como se observó en el caso base. Más aún, la tasa de desempleo de este último grupo (recuperados) bajaría hasta alcanzar un nivel menor que el pre-pandémico, de 5,98 % en la semana 3, haciendo evidente el menor costo de estar empleado que tienen en presencia de infección. El *peak* sería también más bajo en el caso de recuperados, en igual porcentaje que los infectados.

La tasa de desempleo bajaría, en total y para todos los grupos, debido a la menor cantidad de destrucción de empleo en los infectados, en el caso de estos y de los recuperados, y a causa de un costo de infección menor en el caso de susceptibles.

6.2.2. Valor de continuación de la muerte

Con un valor de continuación de la muerte $D = 0$, que implicaría un valor de una vida igual a la utilidad que percibe un trabajador durante la misma³¹, supuesto muy comúnmente usado en economía. Entonces, el modelo perdería casi totalmente su capacidad de explicar el comportamiento del mercado laboral, como se observa en la tabla 6.1. La tasa de desempleo aumentaría solo 2 % hasta 8,25 %, y tanto la productividad de reserva como la estrechez de mercado se verían afectadas considerablemente menos que en el caso base. Por otro lado, la menor pérdida de utilidad a causa de la infección generaría una cantidad mayor de contagios y una mayor cantidad de muertes (1 400 más), a través del menor desempleo.

6.2.3. Diferentes ratios de tasas de infección entre empleados y desempleados

Otro factor importante en el costo relativo de infección es la diferencia entre las tasas de infección de empleados y desempleados, ya que una diferencia considerable implica un reemplazo mayor entre empleo y desempleo. En la literatura se encuentran diversas mediciones sobre esta diferencia, desde quienes hablan de un notable aumento de interacciones sociales, por lo tanto, de la posibilidad de infectarse al estar empleado (Kapička y Rupert, 2021), hasta quienes hablan de un contagio principalmente intradomiciliario (Bradley *et al.*, 2021). Se compara aquí el valor de 0,65 de este ratio, usado en la calibración base, con 0,288 usado por Kapička y Rupert (2021) y 0,958 usado en Bradley *et al.* (2021). En la tabla 6.1 se ven las diferencias en el equilibrio al variar la diferencia entre las tasas de infección de empleados y desempleados.

³¹ $D = 0$ también implica que el trabajador está indiferente entre dejar de recibir ingresos o morir, lo cual no parece razonable.

6.2.3.1. Diferencia entre tasas como en Kapička y Rupert (2021)

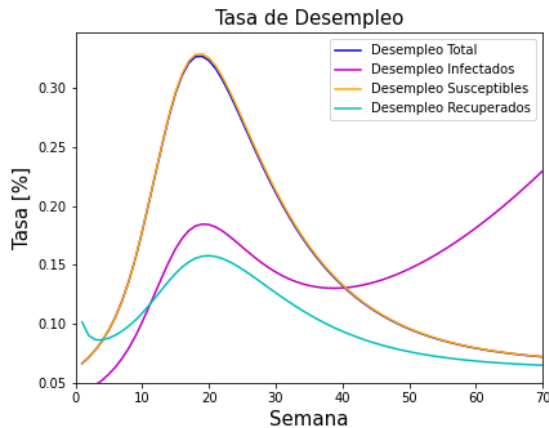


Figura 6.2: Tasa de desempleo. Aumento en la diferencia entre tasas de infección.

sería de 1,77 % de la población total, comparado con 3,56 % del caso base, y los fallecidos llegarían a solo 1 666.

6.2.3.2. Diferencia entre tasas como en Bradley *et al.* (2021)

Como contraparte, si la diferencia entre las tasas disminuye, por ejemplo, en un escenario en que el contagio es principalmente intradomiciliario, el modelo perdería casi totalmente su capacidad de explicar el comportamiento del mercado laboral, con un alza marginal en el desempleo. Por otro lado, de mantenerse empleada una mayor cantidad de personas, tanto el número de infectados y de fallecidos totales aumentaría. El número de infectados sería un 1 % mayor, en comparación con el caso base.

Si bien se ha argumentado de diversas formas el aumento (muy grande o pequeño) del riesgo de contagios fuera del hogar, en el modelo esta diferencia entre las tasas de infección cumple un doble rol. Por un lado, muestra como un mayor desempleo implica una cantidad menor de contagios, por otro, es una medición del riesgo que enfrenta un trabajador al estar empleado. Es cierto que existe un riesgo mayor, además, presumiblemente existe una percepción de riesgo mayor, y este último aspecto no es considerado, ni capturado, en el modelo.

³² No así el número de reproducción básico que se mantendría en 2,6 como en el caso base.

Tabla 6.1: Variación de parámetros

	Base	$\delta = 0$	$\eta = 0,9$	$D = 0$	$\frac{S^U}{S^E} = 0,288$	$\frac{S^U}{S^E} = 0,958$
$Max\{I_t\}$	53 608 (0,45 %)	40 503 (0,42 %)	54 596 (0,46 %)	70 968 (0,59 %)	26 300 (0,22 %)	72 698 (0,61 %)
Semana $peak I_t$	21	20	21	22	18	22
Ψ^I	0,51	0,51	0,34	0,51	0,51	0,51
$Max\{\Psi_t^S\}$	0,49	0,49	0,49	0,35	0,52	0,32
$Min\{\theta_t^S\}$	0,27	0,28	0,28	0,74	0,22	0,82
Total Recuperados	426 065 (3,56 %)	328 809 (3,39 %)	433 347 (3,62 %)	559 157 (4,68 %)	211 102 (1,77 %)	569 224 (4,76 %)
Total Fallecidos	5 052 (0,04 %)	1 047 (0,01 %)	5 128 (0,04 %)	6 425 (0,05 %)	1 666 (0,01 %)	8,180 (0,07 %)
$Max\{u_t\}$	27,2 %	26,04 %	26,04 %	8,25 %	32,67 %	7,55 %
Semana $\mathcal{R}_e = 0$	12	11	12	12	11	13
$max\{\pi_t^{EI}\}$	0,64 %	0,55 %	0,65 %	0,85 %	0,35 %	0,80 %
$max\{\pi_t^{UI}\}$	0,42 %	0,36 %	0,42 %	0,36 %	0,10 %	0,77 %
$max\{\pi_t^{OI}\}$	0,42 %	0,36 %	0,42 %	0,36 %	0,10 %	0,77 %
\bar{Y}	0,85	0,85	0,85	0,93	0,82	0,93

6.3. Robustez en la elección de parámetros epidemiológicos

La respuesta del mercado laboral es muy sensible a la elección de los parámetros epidemiológicos, los que determinan la virulencia y agresividad de la ola pandémica. En esta sección se detallará el efecto que provoca su variación y se mostrará que distintas combinaciones de estos pueden producir un resultado similar al caso con la calibración base, sin embargo, más alejado del desarrollo de la primera ola de la pandemia en Chile. Se muestra así que los parámetros usados en la calibración base apuntan de manera adecuada a reproducir el comportamiento visto de la infección. En la tabla 6.2 se encuentra un resumen del efecto en el equilibrio de distintas combinaciones de los parámetros epidemiológicos.

6.3.1. Parámetro de protección

En la segunda columna de la tabla 6.2 se muestra el efecto de eliminar el parámetro de protección, es decir, imponiendo $\alpha_p = 0,0$. Con un número de reproducción efectivo de 2,6 (Canals *et al.*, 2020, MinCiencia, 2020), entonces, el modelo produciría un desarrollo muy violento de la pandemia y una respuesta muy fuerte del mercado laboral. En el *peak* existirían 1 847 191 infectados activos y 76,47 % de la población terminaría infectada. El número de reproducción efectivo se mantendría sobre 1,0 hasta la semana 19 de la infección, lo que no es consistente con lo ocurrido en Chile durante la primera ola (figura 5.9.a.b, MinCiencia (2020)).

Recuerde que el parámetro de protección permite reconciliar un número de reproducción básico alto, pero que desciende rápidamente a valores cercanos a 1,0. En las columnas tres y cuatro de la misma tabla, se muestra que, con un parámetro de protección nulo y con un

$\mathcal{R}_0 = 1,2$ se provocaría una respuesta similar al caso base, tanto de la pandemia como del mercado laboral. Sin embargo, con un desarrollo más largo de la misma y con el *peak* mucho más lejano en el tiempo, lo que no es consistente con lo ocurrido en la realidad (figura A.5.b). La respuesta del mercado laboral sería (casi) idéntica en cuanto al *peak* de la productividad de reserva y al mínimo de la estrechez de mercado. Sin embargo, la mayor duración de la pandemia produciría un número mayor de infectados y fallecidos, y un nivel más alto del desempleo.

Las columnas tres y cuatro se diferencian en la cantidad exógena inicial de infectados. En la columna cuatro se utiliza un nivel mayor de $\epsilon = 1e - 3$. Se muestra que, en ausencia del parámetro de protección, la elección de esta cantidad inicial solo modifica el número de semanas adelante en que se produce el *peak*.

En la figura E.7 del anexo E.5 se puede ver la respuesta de los infectados activos y del número de reproducción efectivo para estas dos combinaciones de parámetros. En el primer caso (columna tres de la tabla 6.2), la pandemia se desarrollaría prácticamente entre las semanas 25 y 125, con un *peak* en la semana 85 (figura E.7.a). Mientras que el número de reproducción efectivo, si bien sería siempre cercano a uno debido a que $\mathcal{R}_0 = 1,2$, solo se convertiría en menor a 1,0 recién en la semana 76 (figura E.7.b). En el segundo caso (columna cuatro de la tabla 6.2), el *peak* de infectados activos se adelantaría bastante, ocurriría en la semana 35, sin embargo, muy por sobre el caso base en donde este ocurre en la semana 21. Mientras que la infección solo se extinguiría luego de la semana 150 (figura E.7.c). Por otra parte, el número de reproducción efectivo se mantendría sobre 1,0 hasta la semana 28 (figura E.7.d).

Con esto se justifica la elección de un número de reproducción básico alto, $\mathcal{R}_0 = 2,6$, y el uso en conjunto de un parámetro de protección, el que provoca el descenso de \mathcal{R}_e por debajo de 1,0 luego de 12 semanas.

6.3.2. Factor de interacciones sociales de jubilados

Se ha discutido bastante en la literatura acerca de los beneficios de una cuarentena diferenciada para personas mayores. Existen autores que sostienen que una cuarentena de este tipo tiene beneficios económicos y para la salud, al mantener en su hogar, sin trabajar, a la población de mayor edad, menos productivos y con mayor riesgo de mortalidad en caso de enfermarse (Acemoglu *et al.*, 2021, Dusha *et al.*, 2020). Otros autores han criticado esta idea (Brotherhood *et al.*, 2020). Aquí, con un simple ejercicio se muestra que, *ceteris paribus*, este tipo de política tiene beneficios tanto para la salud como para la economía. Sin embargo, el mismo resultado se podría obtener aumentando el parámetro protección. Es decir, no necesariamente el beneficio económico y sanitario se obtiene con una cuarentena diferenciada, ya que su efecto se puede confundir con el de otras variables que también implican protección

frente al contagio. En el modelo, estas variables son capturados por el parámetro α_p , como lavado de manos, distanciamiento físico, ventilación cruzada, etc.

En la quinta columna de la tabla 6.2 se muestra el equilibrio que se obtendría al reducir en un 15 % las interacciones sociales de mayores de 65 años, es decir, $\rho = 0,85$, lo que implicaría una reducción del número de reproducción básico en 0,05. El modelo resultaría en menos infectados y fallecidos, con más de 1 100 muertes menos. A la vez, resultaría en un menor desempleo, de aproximadamente 6 % menos que el caso base, y una menor pérdida en el producto promedio anual, el cual caería desde su nivel pre-pandémico de 0,94 hasta 0,87, en comparación con 0,85 en la calibración base.

Del mismo modo, en la sexta y última columna de la misma tabla se muestra que se podría obtener prácticamente el mismo resultado antes descrito, si se mantiene $\rho = 1,0$ y se aumenta el parámetro de protección en 0,0015, hasta 0,0430.

Tabla 6.2: Elección de parámetros epidemiológicos

	Base	$\alpha_p = 0$	$\alpha_p = 0$ & $\mathcal{R}_0 = 1,2$	$\alpha_p = 0$ & $\mathcal{R}_0 = 1,2$ & $\epsilon = 1e-3$	$\rho = 0,85$	$\rho = 1,0$ & $\alpha_p = 0,0430$
\mathcal{R}_0	2,60	2,60	1,20	1,20	2,55	2,60
α_p	0,0415	0,0	0,0	0,0	0,0415	0,0430
ρ	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00
ϵ	$1e-5$	$1e-5$	$1e-5$	$1e-3$	$1e-5$	$1e-5$
$Max\{I_t\}$	53 608 (0,45%)	1 847 191 (15,44%)	96 971 (0,81%)	100 806 (0,84%)	45 577 (0,38%)	47 693 (0,40%)
Semana <i>peak</i> I_t	21	22	85	35	21	20
Ψ^I	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
$Max\{\Psi_t^S\}$	0,49	1,45	0,49	0,49	0,47	0,47
$Min\{\theta_t^S\}$	0,27	0,00	0,29	0,27	0,34	0,33
Total Recuperados	426 065 (3,56%)	9 145 546 (76,47%)	1 690 692 (14,14%)	2 578 980 (21,36%)	366 975 (3,07%)	375 516 (3,14%)
Total Fallecidos	5 052 (0,04%)	134 209 (1,12%)	20 120(0,17%)	31 142 (0,26%)	3 889 (0,03%)	4 410 (0,04%)
$Max\{u_t\}$	27,2%	93,29%	31,84%	33,42%	21,12%	22,35%
Semana $\mathcal{R}_e = 0$	12	19	76	28	12	12
$max\{\pi_t^{EI}\}$	0,64%	22,07%	0,53%	0,56%	0,50%	0,57%
$max\{\pi_t^{UI}\}$	0,42%	14,35%	0,35%	0,36%	0,35%	0,37%
$max\{\pi_t^{OI}\}$	0,42%	14,35%	0,35%	0,36%	0,30%	0,37%
\bar{Y}	0,85	0,54	0,88 ^a	0,79	0,87	0,87

^a Producto promedio durante un periodo más largo, de 208 semanas.

Capítulo 7

CONCLUSIONES

La principal contribución de este trabajo es mostrar la pérdida de eficiencia del mercado laboral, causada por el alza de estándares ante el aumento de contagios, tal como ha sido mostrado por otros autores en contexto de crisis económica.

En este trabajo, en que interactúa un modelo DMP del mercado laboral con una adaptación en tiempo discreto de un modelo SEIR generalizado, se muestra, utilizando un criterio de separación y contratación endógeno, que ante el alza de contagios se produce un aumento de los “estándares de contratación” y de los “estándares de no separación”. Esto provoca una pérdida de eficiencia del mercado laboral, que permite explicar la gran destrucción de empleos y la baja en la creación de los mismos, durante la pandemia.

El alza de estándares genera un ciclo de refuerzo con el valor esperado del excedente de las relaciones laborales, en donde la baja de este último genera un alza en el primero, y el alza de éste implica una baja del último. Junto con esto, existe un segundo factor determinante en la pérdida de valor del excedente, el “costo relativo de infección”. En este, los factores más importante que explican la reacción del mercado laboral son: el mayor riesgo que poseen los empleados con respecto a los desempleados de infectarse, lo que causa el reemplazo de empleo por desempleo; y la pérdida de utilidad en caso de fallecer, explicado por la utilización de un “valor de la vida” alto y más realista.

La pérdida de valor del excedente junto con el alza de estándares explican, a través de mecanismos directos o indirectos, la pérdida de eficiencia del mercado laboral, representado en un alza de 3% en la probabilidad de separación semanal y una baja de más de 2% en la probabilidad semanal de encontrar empleo.

El modelo se ajusta bien a la dinámica de la infección mostrada en Chile durante la primera ola, a la vez, es capaz de replicar muy de cerca la respuesta del mercado laboral en

este mismo periodo. En el *peak* pandémico, según el modelo aquí expuesto, se perdieron dos millones de empleos, los trabajadores susceptibles mostraron un alza de 35 % en el salario de reserva, el salario promedio de la economía aumentó en 1,5 %, y se provocó una pérdida de 9,8 % en el producto agregado anual.

La incorporación de heterogeneidad etárea, a través de una “probabilidad de envejecer” que representa el riesgo de los trabajadores de mayor edad, permite explicar un 1 % del aumento del desempleo. A la vez, se contribuye a la literatura relacionada con la exploración de cuarentenas diferenciadas para personas mayores, mostrando que sus beneficios pueden confundirse con otras medidas que frenan la expansión de contagios.

A través del modelo se muestra que el pago de licencias médicas es beneficioso y ayuda a frenar el aumento del desempleo.

Bibliografía

- Acemoglu, D., Chernozhukov, V., Werning, I., y Whinston, M. (2021). Optimal targeted lockdowns in a multigroup sir model. *American Economic Review: Insights*, 3:487–502.
- Banzhaf, H. S. (2021). The value of statistical life: A meta-analysis of meta-analyses. Working Paper 29185, National Bureau of Economic Research.
- Bradley, J., Ruggieri, A., y Spencer, A. H. (2021). Twin peaks: Covid-19 and the labor market. *European Economic Review*, 138:103828.
- Brotherhood, L., Kircher, P., Santos, C., y Tertilt, M. (2020). An economic model of the Covid-19 pandemic with young and old agents: Behavior, testing and policies.
- Canals, M., Cuadrado, C., y Canals, A. (2021). Covid-19 in chile: The usefulness of simple epidemic models in practice. *Medwave*, 21(1):e8119.
- Canals, M., Cuadrado, C., Canals, A., Yohannessen, K., Lefio, L., Bertoglia Arredondo, M., Eguiguren, A., Siches, I., Iglesias, V., y Arteaga, O. (2020). Epidemic trends, public health response and health system capacity: The chilean experience in four months of the covid-19 pandemic. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 44:1.
- Choi, S., Figueroa, N. S., y Villena-Roldán, B. (2022). Wage cyclicality revisited: The role of hiring standards.
- Choi, S. y Villena-Roldán, B. (2021). The impact of covid-19 on the labor market: A perspective from online job board data [diapositiva de powerpoint]. Comunicación personal.
- De León, M. y Gómez Corral, A. (2020). *Las matemáticas de la pandemia*. Concejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC y, Los libros de la Catarata. Madrid, España.
- Diamond, P. A. (1982). Aggregate demand management in search equilibrium. *Journal of Political Economy*, 90(5):881–894.
- Dusha, E., Escobar, J., y Moreno, J. (2020). Cuarentenas diferenciadas protegen la salud y la economía.
- Eichenbaum, M. S., Rebelo, S., y Trabandt, M. (2020). The macroeconomics of epidemics. Working Paper 26882, National Bureau of Economic Research.
- Guerra-Salas, J., Kirchner, M., y Tranamil, R. (2021). Search Frictions and the Business

- Cycle in a Small Open Economy DSGE Model. *Review of Economic Dynamics*, 39:258–279.
- Guerrero-Nancuante, C. y Manríquez, R. (2020). An epidemiological forecast of covid-19 in chile based on the generalized seir model and the concept of recovered. *Medwave*, 20:<https://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Revisiones/Analisis/7898.act>.
- Hagedorn, M. y Manovskii, I. (2008). The cyclical behavior of equilibrium unemployment and vacancies revisited. *American Economic Review*, 98(4):1692–1706.
- Hensvik, L., Le Barbanchon, T., y Rathelot, R. (2021). Job search during the covid-19 crisis. *Journal of Public Economics*, 194:104349.
- Kahn, L. B., Lange, F., y Wiczer, D. (2020). Labor Demand in the Time of COVID-19: Evidence from Vacancy Postings and UI Claims. Cahiers de recherche 09-2020, Centre interuniversitaire de recherche en économie quantitative, CIREQ.
- Kapička, M. y Rupert, P. (2021). Labor markets during pandemics.
- Kermack, W. O. y McKendrick, A. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, 115(772):700–721.
- Ljungqvist, L. y Sargent, T. J. (2017). The Fundamental Surplus. *American Economic Review*, 107(9):2630–2665.
- Marcel, M. y Naudon, A. (2016). Transiciones laborales y la tasa de desempleo en chile. *Documentos de Trabajo Banco Central de Chile*, 787.
- MinCiencia (2020). Datos-covid19. Repositorio GitHub, disponible en “<https://github.com/MinCiencia/Datos-COVID19>”. Datos obtenidos desde el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, Gobierno de Chile, y producidos por el Ministerio de Salud, Gobierno de Chile, y el grupo ICOVID Chile. <https://github.com/MinCiencia/Datos-COVID19>.
- Mortensen, D. T. y Pissarides, C. A. (1994). Job creation and job destruction in the theory of unemployment. *The Review of Economic Studies*, 61(3):397–415.
- Peng, L., Yang, W., Zhang, D., Zhuge, C., y Hong, L. (2020). Epidemic analysis of covid-19 in china by dynamical modeling.
- Pissarides, C. A. (1985). Short-run equilibrium dynamics of unemployment, vacancies, and real wages. *The American Economic Review*, 75(4):676–690.
- Pissarides, C. A. (2000). *Equilibrium Unemployment Theory*, capítulo 2, pp. 37–66. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2 edición.
- Pissarides, C. A. (2009). The unemployment volatility puzzle: Is wage stickiness the answer? *Econometrica*, 77:1339 – 1369.
- Russell, T., Hellewell, J., Abbott, S., Jarvis, C., Zandvoort, K., Ratnayake, R., CMMID nCov working group, Flasche, S., Eggo, R., Edmunds, W., y Adam, H. (2020). Using a delay-adjusted case fatality ratio to estimate under-reporting. CMMID Repository. <https://github.com/CMMID/ncov>.

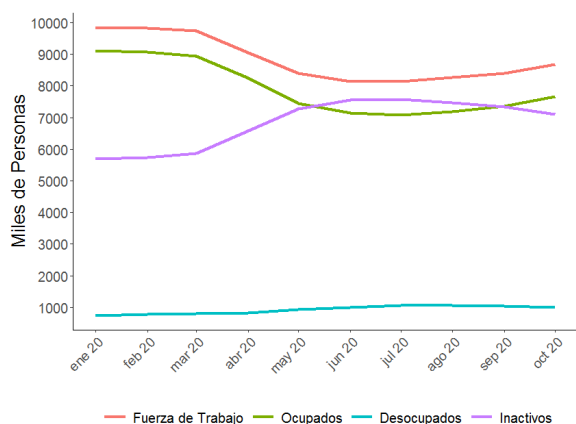
[//cmmid.github.io/topics/covid19/global_cfr_estimates.html](https://cmmid.github.io/topics/covid19/global_cfr_estimates.html).

- Sedláček, P. (2014). Match efficiency and firms' hiring standards. *Journal of Monetary Economics*, 62(C):123–133.
- Shimer, R. (2005). The Cyclical Behavior of Equilibrium Unemployment and Vacancies. *American Economic Review*, 95(1):25–49.
- Verity, R., Okell, L., Dorigatti, I., Winskill, P., Whittaker, C., Imai, N., Cuomo-Dannenburg, G., Thompson, H., Walker, P., Fu, H., Dighe, A., Griffin, J., Baguelin, M., Bhatia, S., Boonyasiri, A., Cori, A., Cucunubá, Z., FitzJohn, R., Gaythorpe, K..., y Ferguson, N. (2020). Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis. *The Lancet. Infectious diseases*, 20(6):669–677.
- Villena-Roldán, B. (2020). *Impacto del COVID-19 en el mercado laboral chileno: una mirada desde las bolsas de empleo en internet*. *En: Informe anual 2020*, capítulo 3. Comisión Nacional de Productividad.

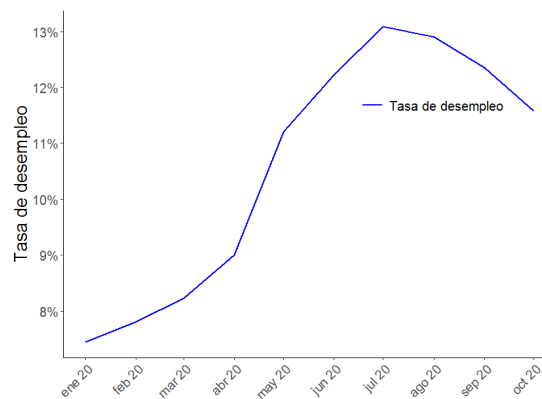
Anexos

Anexo A. Primera ola COVID-19 en Chile y respuesta del mercado laboral.

A.1. Mercado laboral durante la primera ola



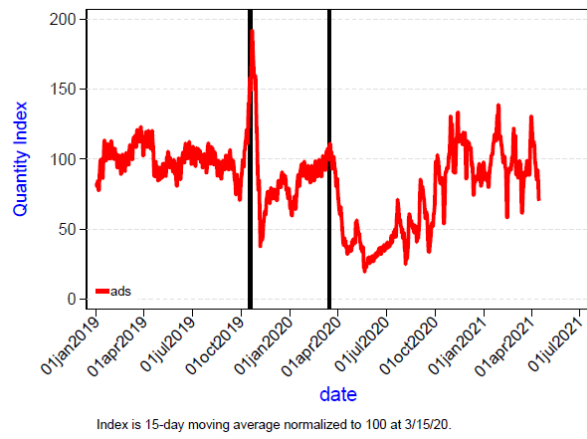
(a) Fuerza de trabajo durante primera ola



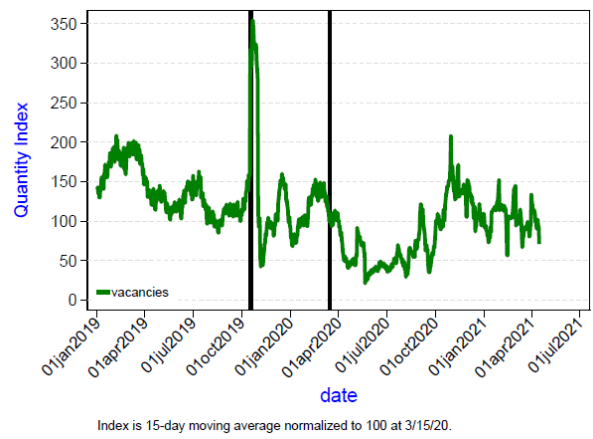
(b) Tasa de desempleo durante primera ola

Figura A.1: Fuerza de trabajo y tasa de desempleo. Primera ola COVID-19

Fuente: Elaboración propia con datos del INE, publicados por Banco Central de Chile, disponibles en <https://si3.bcentral.cl/siete>



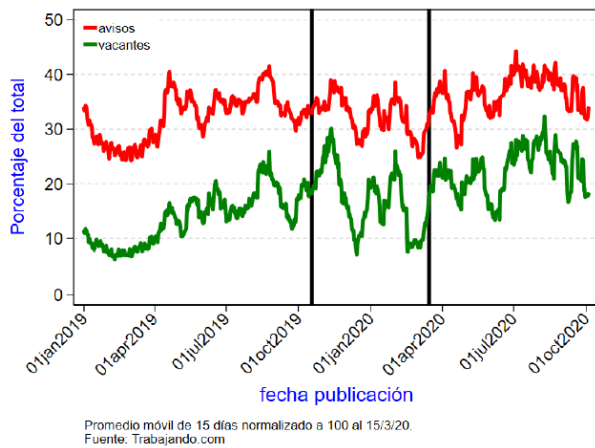
(a) Avisos primera ola



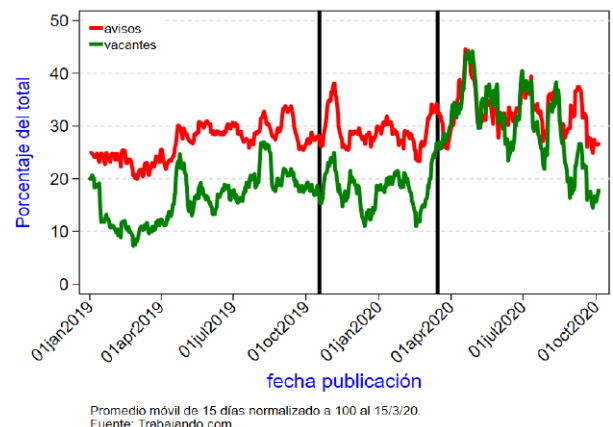
(b) Vacantes primera ola

Figura A.2: Avisos y vacantes ofrecidas. Primera ola COVID-19

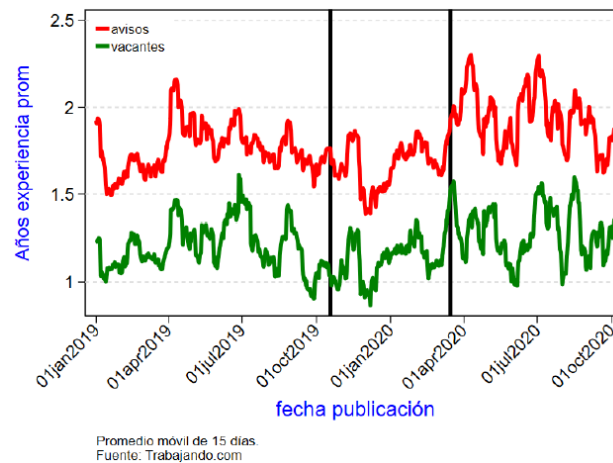
Fuente: Choi y Villena-Roldán (2021)



(a) Porcentaje de avisos educación universitaria



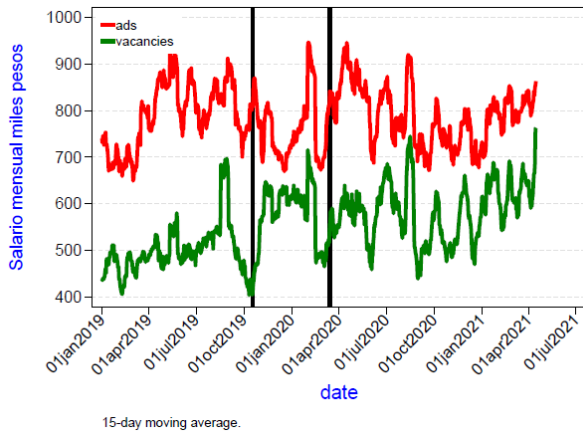
(b) Porcentaje de avisos educación técnica superior



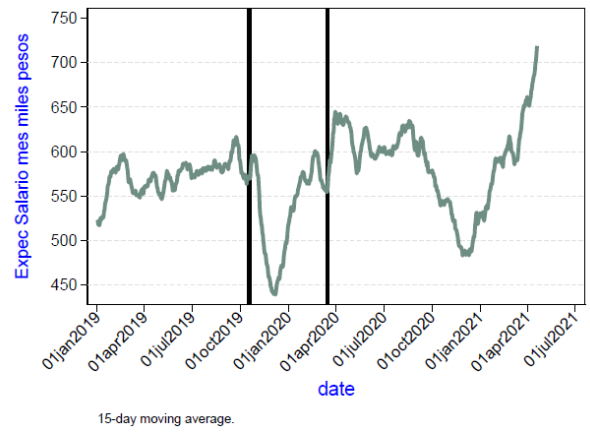
(c) Años de experiencia solicitados por empresas

Figura A.3: Aumento de requerimientos solicitados por empresas. Primera ola COVID-19

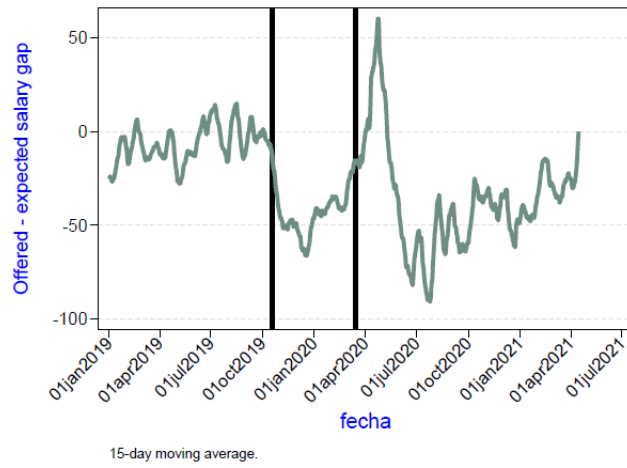
Fuente: Villena-Roldán (2020)



(a) Salario ofrecido por aviso y vacante



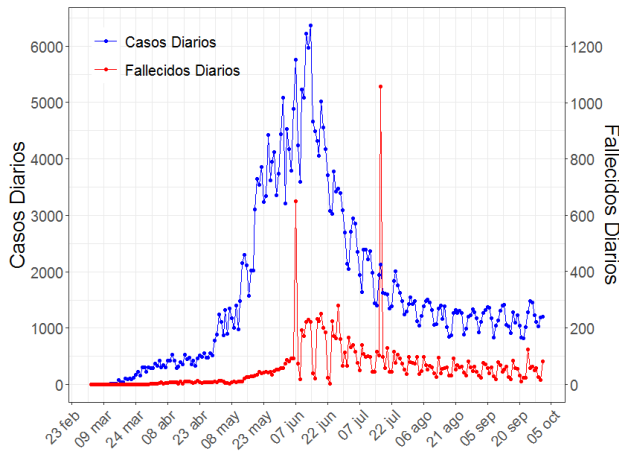
(b) Salario esperado por postulantes



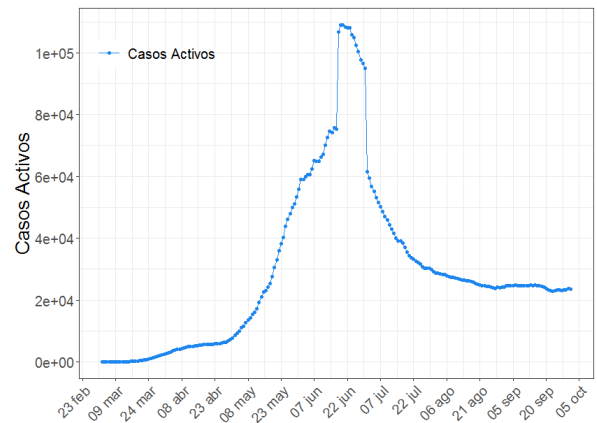
(c) Brecha salarial: Salario ofrecido - Salario esperado

Figura A.4: Salarios durante la primera ola COVID-19
Fuente: Choi y Villena-Roldán (2021)

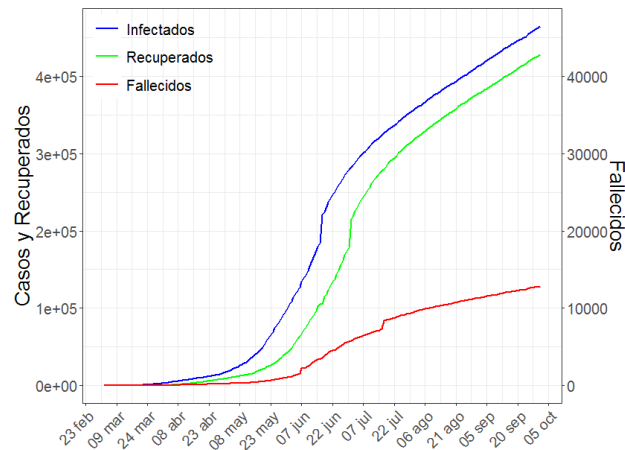
A.2. Primera ola COVID-19 en Chile.



(a) Casos y fallecidos diarios primera ola COVID-19



(b) Casos activos primera ola COVID-19



(c) Casos, Fallecidos y Recuperados acumulados primera ola

Figura A.5: Primera ola COVID-19.

Nota: La serie de fallecidos diarios (A.6.a), en rojo, presenta 2 *outliers* en el gráfico, los que se deben a la incorporación de parte de MINSAL de 649 fallecimientos el 7 de junio y 1057 fallecimientos el 17 de julio. Las figuras A.6.b y A.6.c muestran dos ejes en ambos casos. En el eje derecho se referencian la cantidad de fallecidos, en ambos casos están en una escala distinta al eje izquierdo, tienen una proporción 5:1 en el primer caso y 10:1 en el segundo caso.

La serie acumulada de recuperados presentaba un error, donde pasaba de 141 667 el 17 de junio a 114 451 el 18 de junio, y continuando monótonamente creciente en adelante. Este dato fue sacado del gráfico.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de GitHub de MinCiencia (2020)

Anexo B. Dinámica poblacional y del mercado laboral

La fuerza laboral en estado estacionario está normalizada a 1.

$$Pob_t = N_t + O_t$$

$$N_t = U_t + E_t$$

$$U_t = US_t + UI_t + UR_t + UP_t$$

$$E_t = ES_t + EI_t + ER_t + EP_t$$

$$O_t = OS_t + OI_t + OR_t + OP_t$$

$$R_t = ER_t + UR_t + OR_t$$

$$I_t = EI_t + UI_t + OI_t$$

$$S_t = ES_t + US_t + OS_t$$

$$P_t = EP_t + UP_t + OP_t$$

Donde: Pob_t denota a la población total en el periodo t ; N_t denota a la fuerza laboral en el periodo t ; D_t denota al número acumulado de muertes en el periodo t ; U_t , E_t y O_t denotan a la masa de trabajadores empleados, desempleados y jubilados, en el periodo t respectivamente; S_t , I_t , R_t y P_t denotan a la masa de susceptibles, infectados, recuperados y protegidos, en el periodo t respectivamente; US_t , UI_t , UR_t y UP_t denotan a la masa de desempleados susceptibles, infectados, recuperados y protegidos, en el periodo t respectivamente; ES_t , EI_t , ER_t y EP_t denotan a la masa de empleados susceptibles, infectados, recuperados y protegidos, en el periodo t respectivamente; mientras que OS_t , OI_t , OR_t y OP_t denotan a la masa de jubilados susceptibles, infectados, recuperados y protegidos, en el periodo t respectivamente.

B.1. Flujos poblacionales

B.1.1. Recuperados

La masa de trabajadores empleados recuperados en el periodo $t+1$ es igual a, la fracción $(1 - s_t^R)$ de empleados recuperados que no son separados (en el periodo t); más una fracción f_t^R de desempleados recuperados que son contratados (en el periodo t); más una fracción $\pi_R(1 - s_t^I)$ de empleados infectados, es decir, los que no son separados y se recuperan de la infección (en el periodo t); menos la fracción δ que se jubila (en el periodo t). Ver ecuación B.1.

Por otro lado, la masa de trabajadores desempleados recuperados en el periodo $t+1$ es igual a, la fracción $(1 - f_t^R)$ de desempleados recuperados que no encuentran empleo; más una fracción s_t^R de empleados recuperados que son separados de su empleo; más una fracción

$\pi_R s_t^I$ de empleados infectados, es decir, los que son separados y se recuperan de la infección; más una fracción π_R de desempleados infectados que se recuperan de la infección³³; menos la fracción δ que se jubila. Ver ecuación B.2.

Por último, la cantidad de jubilados recuperados en $t+1$ es igual a, la fracción $(1 - \xi)$ de retirados recuperados que no fallece por causas naturales; más la fracción $(1 - \xi)\pi_R^O$ de jubilados infectados, esto es, los que no fallecen por causas naturales y se recuperan de la infección; más la fracción δ de empleados y desempleados recuperados que se jubila. Ver ecuación B.3.

$$ER_{t+1} = (1 - s_t^R)ER_t + f_t^R UR_t + \pi_R(1 - s_t^I)EI_t - \delta ER_t \quad (\text{B.1})$$

$$UR_{t+1} = (1 - f_t^R)UR_t + s_t^R ER_t + \pi_R s_t^I EI_t + \pi_R UI_t - \delta UR_t \quad (\text{B.2})$$

$$OR_{t+1} = (1 - \xi)OR_t + (1 - \xi)\pi_R^O OI_t + \delta(ER_t + UR_t) \quad (\text{B.3})$$

B.1.2. Infectados

La masa de empleados infectados en el periodo $t+1$ se compone por, la fracción $(1 - \pi_R - \pi_D)(1 - s_t^I)$ de empleados infectados, es decir, los que no son separados y continúan estando infectados por el virus; más una fracción $\pi_t^{EI}(1 - s_t^S)$ de empleados susceptibles que no son separados y que se contagian con el virus; menos la fracción δ que se jubila. Note que no hay flujo de trabajadores infectados desde el desempleo al empleo, dado que estos no pueden buscar empleo. Ver ecuación B.4

Por otro lado, la cantidad de desempleados infectados en el periodo $t+1$ es igual a, la fracción $(1 - \pi_R - \pi_D)$ de desempleados infectados³⁴, esto es, los que no se recuperan ni fallecen por la infección; más una fracción π_t^{UI} de desempleados susceptibles que se contagian con el virus³⁵; más la fracción $(1 - \pi_R - \pi_D)s_t^I$ de empleados infectados, i.e., los que son separados, y no se recuperan ni fallecen; más una fracción $\pi_t^{EI}s_t^S$ de empleados susceptibles que se contagian y que son separados; menos la fracción δ que se jubila. Ver ecuación B.5.

Por último, la cantidad de retirados infectados en $t+1$ es igual a, la fracción $(1 - \xi)(1 - \pi_R^O - \pi_D^O)$ de jubilados infectados, esto es, los que no fallecen por causas naturales y continúan estando infectados(no fallecen de la enfermedad ni se recuperan en el periodo t); más la fracción $(1 - \xi)\pi_t^{OI}OS_t$ de jubilados susceptibles, i.e., los que no fallecen por causas naturales

³³ De estos últimos, ninguno pudo entrar directamente a la fase de recuperado como empleado, ya que los trabajadores infectados no pueden buscar empleo.

³⁴ Note que mientras estos continúan como infectados activos, entonces, permanecerán como desempleados, ya que no pueden buscar empleo.

³⁵ Note que todo desempleado susceptible que se contagia, independientemente de que encuentre un *match* y de que su productividad sea mayor a la de reserva, se convertirá en desempleado infectado. Esto se debe a que cuando un trabajador encuentra un *match* y una relación laboral favorable, no puede ser contratado si está contagiado.

y se infectan en el periodo t ; más la fracción δ de empleados y desempleados infectados que se jubila. Ver ecuación B.6.

$$EI_{t+1} = (1 - \pi_R - \pi_D)(1 - s_t^I)EI_t + \pi_t^{EI}(1 - s_t^S)ES_t - \delta EI_t \quad (\text{B.4})$$

$$UI_{t+1} = (1 - \pi_R - \pi_D)UI_t + (1 - \pi_R - \pi_D)s_t^I EI_t + \pi_t^{UI}US_t + \pi_t^{EI}s_t^S ES_t - \delta UI_t \quad (\text{B.5})$$

$$OI_{t+1} = (1 - \xi)(1 - \pi_R^O - \pi_D^O)OI_t + (1 - \xi)\pi_t^{OI}OS_t + \delta(EI_t + UI_t) \quad (\text{B.6})$$

B.1.3. Susceptibles

La masa de empleados susceptibles en el periodo $t+1$ se compone de, una fracción $(1 - \pi_t^{EI})(1 - s_t^S)$ de empleados susceptibles que no se contagia y que no son separados; más una fracción $(1 - \pi_t^{UI})f_t^S$ de desempleados susceptibles que no se contagian y que son contratados; menos la fracción δ que se jubila; menos la fracción α_p que transita al estado protegido. Ver ecuación B.7.

La masa de desempleados susceptibles en el periodo $t+1$ está formada por, una fracción $(1 - \pi_t^{UI})(1 - f_t^S)$ de desempleados susceptibles que no se contagian ni encuentran empleo; más la fracción $(1 - \pi_t^{EI})s_t^S$ de empleados susceptibles que no se contagia y es separado. Adicionalmente, la cantidad de desempleados susceptibles aumenta por la masa ζ de “nacimientos” en cada periodo, y disminuye en la fracción δ que se jubila y la fracción α_p que transita al estado protegido. Ver ecuación B.8.

La cantidad de retirados susceptibles en $t+1$ es igual a, la fracción $(1 - \xi)(1 - \pi_t^{OI})$ de estos que no fallece por causas naturales ni se infecta en el periodo t ; más la fracción δ de empleados y desempleados susceptibles que se jubila; menos una fracción α_p de jubilados susceptibles que transita al estado protegido. Ver ecuación B.9.

$$ES_{t+1} = (1 - \pi_t^{EI})(1 - s_t^S)ES_t + (1 - \pi_t^{UI})f_t^S US_t - \delta ES_t - \alpha_p ES_t \quad (\text{B.7})$$

$$US_{t+1} = \zeta + (1 - \pi_t^{UI})(1 - f_t^S)US_t + (1 - \pi_t^{EI})s_t^S ES_t - \delta US_t - \alpha_p US_t \quad (\text{B.8})$$

$$OS_{t+1} = (1 - \xi)(1 - \pi_t^{OI})OS_t + \delta(ES_t + US_t) - \alpha_p OS_t \quad (\text{B.9})$$

B.1.4. Protegidos

Para no afectar la dinámica del mercado laboral, producto de la incorporación del parámetro de protección, se asume que los trabajadores protegidos enfrentan las mismas probabilidades de transición que los trabajadores susceptibles.

La cantidad de empleados protegidos en $t+1$ se compone de, la cantidad $(1 - s_t^S)$ de estos

que no son separados en t ; más la masa f_t de desempleados protegidos que consiguen empleo en t ; menos la fracción δ de empleados protegidos que se jubilan; más la masa α_p de empleados susceptibles que son “protegidos”. Ver ecuación B.10.

La masa de desempleados protegidos en $t+1$ es igual a, la fracción $(1 - f_t^S)$ de estos que no son contratados en t ; más la masa s_t de empleados protegidos que son separados; menos la cantidad δ de desempleados protegidos que se retiran; más la masa α_p de desempleados susceptibles que son “protegidos”. Ver ecuación B.11.

Los jubilados protegidos en el periodo $t+1$ corresponden a, la fracción $(1 - \xi)$ de estos que no fallece de causas naturales en t ; más la masa δ de empleados y desempleados protegidos que se jubila; más la cantidad α_p de retirados susceptibles que son “protegidos”. Ver ecuación B.12.

$$EP_{t+1} = (1 - s_t^S)EP_t + f_t^S UP_t - \delta EP_t + \alpha_p ES_t \quad (\text{B.10})$$

$$UP_{t+1} = (1 - f_t^S)UP_t + s_t^S EP_t - \delta UP_t + \alpha_p US_t \quad (\text{B.11})$$

$$OP_{t+1} = (1 - \xi)OP_t + \delta(EP_t + UP_t) + \alpha_p OS_t \quad (\text{B.12})$$

B.1.5. Muertes

Cada periodo la cantidad acumulada de fallecidos aumenta en, una fracción π_D de empleados y desempleados infectados que fallecen de la enfermedad; más la cantidad π_D^O de jubilados infectados que muere producto de la infección; más la masa ξ de jubilados que fallece de causas naturales.

$$D_{t+1} = D_t + \pi_D(EI_t + UI_t) + \pi_D^O OI_t + \xi O_t$$

En particular, las muertes producto de COVID están dadas por.

$$D_{t+1}^{COVID} = D_t^{COVID} + \pi_D(EI_t + UI_t) + \pi_D^O OI_t \quad (\text{B.13})$$

B.1.6. Agregado por estado de empleo

El flujo total de empleados corresponde a: los empleados recuperados que no son separados (1^{er} término); la cantidad de empleados infectados que no son separados, descontando aquellos que fallecen (2^o término); la cantidad de empleados susceptibles y protegidos que no son separados (3^{er} término); la cantidad de desempleados recuperados que encuentra empleo (4^o término); la cantidad de desempleados susceptibles que no se contagian y encuentran empleo (5^o término); aquellos desempleados protegidos que encuentran empleo (6^o término); por último, menos la cantidad de empleados que jubila (7^o término). Nótese que aquellos des-

empleados susceptibles que encuentran empleo y se contagian transitan al periodo $t+1$ como desempleados, además, véase que la agregación no es total, debido a lo último mencionado y a que las probabilidades de transición en cada estado son distintas, a excepción del caso de empleados susceptibles y protegidos. Ver ecuación B.14.

Análogamente, el flujo total de desempleados es igual a: los desempleados recuperados que no consiguen empleo (1^{er} término); los desempleados infectados que no fallecen (2^o término, recuerde que no pueden buscar empleo); los desempleados susceptibles que no encuentran empleo y aquellos que pudieron haber sido contratados, pero se contagiaron (3^{er} término); los empleados recuperados que son separados (4^o término); los empleados infectados que son separados, descontado aquellos que fallecen (5^o término); los empleados susceptibles y protegidos que son separados (6^o término); los desempleados protegidos que no encuentran empleo (7^o término); por último, menos la cantidad de desempleados que jubila (8^o término). Nuevamente, la agregación no es total, debido a las distintas probabilidades de transición y a que los infectados no pueden buscar empleo ni ser contratados. Ver ecuación B.15.

$$E_{t+1} = (1 - s_t^R)ER_t + (1 - \pi_D)(1 - s_t^I)EI_t + (1 - s_t^S)(ES_t + EP_t) + f_t^RUR_t + (1 - \pi_t^{UI})f_t^SUS_t + f_t^SUP_t - \delta E_t \quad (\text{B.14})$$

$$U_{t+1} = (1 - f_t^R)UR_t + (1 - \pi_D)UI_t + [(1 - f_t^S) + \pi_t^{UI}f_t^S]US_t + s_t^REI_t + (1 - \pi_D)s_t^IEI_t + s_t^S(ES_t + EP_t) + (1 - f_t^S)UP_t - \delta U_t \quad (\text{B.15})$$

Finalmente, la cantidad de jubilados en $t+1$ se compone de, aquellos que no fallecen de causas naturales en t , descontado aquellos retirados infectados que fallecen a causa de la enfermedad (1^{er} término); más aquellos empleados y desempleados que se jubilan (2^o término).

$$O_{t+1} = (1 - \xi)(O_t - \pi_D^O OI_t) + \delta(E_t + U_t) \quad (\text{B.16})$$

B.1.7. Agregado por estado de infección

Cada periodo, la cantidad de infectados disminuye a causa de: las cantidades π_R y π_R^O de infectados activos que se recupera; y las cantidades π_D y π_D^O de infectados activos que fallece. En cambio, aumenta con la proporción π_t^{EI} de empleados susceptibles que se contagia, la fracción π_t^{UI} de desempleados susceptibles que se contagia, y la masa π_t^{OI} de jubilados susceptibles que se enferma. Por lo tanto, la cantidad de infectados en el periodo $t+1$ se compone de este flujo de susceptibles a infectados, y de aquellos infectados activos que no se recuperan ni fallecen. Ver ecuación B.17.

Por otro lado, nótese que, la cantidad de susceptibles en el periodo $t+1$ es igual, a la cantidad de susceptibles en el periodo t , menos el flujo de susceptibles a infectados, y, menos

el flujo de susceptibles a protegidos. Ver ecuación B.18.

$$I_{t+1} = (1 - \pi_R - \pi_D)(EI_t + UI_t) + (1 - \pi_R^O - \pi_D^O)OI_t + \pi_t^{EI}ES_t + \pi_t^{UI}US_t + \pi_t^{OI}OS_t \quad (\text{B.17})$$

$$S_{t+1} = (1 - \pi_t^{EI})ES_t + (1 - \pi_t^{UI})US_t + (1 - \pi_t^{OI})OS_t - \alpha_p S_t \quad (\text{B.18})$$

La cantidad de protegidos aumenta cada periodo debido al flujo α de susceptibles. La cantidad de recuperados aumenta cada periodo debido a aquellos infectados que se recuperan. Mientras que la cantidad de fallecidos COVID aumenta debido a los infectados que mueren a causa de la enfermedad, en cada periodo. Ver ecuaciones B.19, B.20 y B.21

$$P_{t+1} = P_t + \alpha_p S_t \quad (\text{B.19})$$

$$R_{t+1} = R_t + \pi_R(EI_t + UI_t) + \pi_R^O OI_t \quad (\text{B.20})$$

$$D_{t+1}^{COVID} = D_t^{COVID} + \pi_D(EI_t + UI_t) + \pi_D^O OI_t \quad (\text{B.21})$$

En este caso, la agregación no es total, debido a que empleados, desempleados y jubilados susceptibles se contagian a distintas tasas (S^E , S^U y ρS^U), y debido a las distintas probabilidades de fallecer a causa de la enfermedad que tienen jóvenes y viejos.

B.2. Número de reproducción básico

Dadas las condiciones iniciales descritas en la ecuación 4, y a las ecuaciones de la evolución de la infección, 3.a y 3.b, se puede inferir el *número de reproducción básico*, \mathcal{R}_0 , del modelo, el que representa la cantidad de personas contagiadas por el primer caso³⁶:

$$\mathcal{R}_0 = \frac{S^E(1 - u^{ES}) + S^U u^{ES} + \rho S^U o^{ES}}{[(\pi_R + \pi_D) + (\pi_R^O + \pi_D^O)o^{ES}] / P_{ob0}} \quad (\text{B.22})$$

Observe que el numerador pondera las tasas de infección de cada grupo por sus cantidades relativas, mientras que el denominador pondera las tasas de recuperación de jóvenes y viejos por sus cantidades relativas en la población (forma de este último que se debe a las condiciones iniciales de la infección).

A medida que la infección progresa, el número de población susceptible va disminuyendo, lo que hace variar la cantidad de personas contagiadas por cada caso, esto se denomina

³⁶ o^{ES} corresponde a la cantidad de jubilados en estado estacionario, y se ha asumido que la fuerza laboral pre-pandémica es constante de masa 1

número de reproducción efectivo, \mathcal{R}_e :

$$\mathcal{R}_e \equiv \mathcal{R}_t = \frac{[S^E(1 - u_t^S) + S^U u_t^S] (S_t - OS_t) + \rho S^U OS_t}{(\pi_R + \pi_D) \frac{I_t - OI_t}{I_t} + (\pi_R^O + \pi_D^O) \frac{OI_t}{I_t}} \quad (\text{B.23})$$

Anexo C. Funciones de utilidad para los estados del modelo

³⁷Se definen las funciones de utilidad de cada uno de los estados del mercado laboral. Un trabajador puede estar empleado o desempleado, mientras que una vacante puede estar llena, generando producción, o vacía. Las funciones de valor de estos estados se notan como sigue: empleado y desempleado, en el caso de los trabajadores, $E_t^\Lambda(x)$ y U_t^Λ respectivamente, en cada periodo; y de una vacante llena y una vacante vacía, en el caso del empleador, $J_t^\Lambda(x)$ y V_t respectivamente. Por otro lado, en el caso de los jubilados las funciones de valor se denotan por O_t^Λ . Estas funciones de utilidad son definidas usando programación dinámica como *funciones de Bellman*.

C.1. Recuperados

El caso de los trabajadores recuperados define un caso base. Ya que los individuos en este estado no pueden contraer la enfermedad nuevamente, y a que las transiciones hacia el retiro, es decir, la probabilidad de jubilación δ es constante en el tiempo y, por último, que la probabilidad de fallecer de muerte natural ξ también lo es, entonces, las funciones de utilidad de los recuperados son invariantes en el tiempo.

C.1.1. Trabajadores

Los trabajadores desempleados perciben un beneficio no laboral b , mientras que los trabajadores empleados reciben su salario $\omega^R(x)$, el cual es negociado periodo a periodo y depende de su productividad idiosincrática. En ambos casos se suma el valor descontado de sus utilidades esperadas futuras, descontadas por el factor β .

$$U^R = b + \beta(1 - \delta) \left[p(\theta^R) \int_0^\infty \text{Max}\{E^R(s) - U^R, 0\} dG(s) + U^R \right] + \beta\delta O^R \quad (\text{C.1})$$

$$E^R(x) = \omega^R(x) + \beta(1 - \delta) \left[(1 - \lambda) \int_0^\infty \text{Max}\{E^R(s) - U^R, 0\} dG(s) + U^R \right] + \beta\delta O^R \quad (\text{C.2})$$

³⁷ Se nota $\lambda \in \tilde{\Lambda}$, como un elemento del respectivo conjunto, y recuerde que $\tilde{\Lambda} = \{S, I, R\}$.

El caso con $\delta = 0$ define uno particular en que no existe heterogeneidad etárea. Cabe notar que los valores de continuación correspondientes a estar dentro de la fuerza laboral están multiplicados por $(1 - \delta)$, es decir, por la probabilidad de no jubilar en cada periodo. En cambio, el valor de continuación de un jubilado recuperado, O^R , está multiplicado por δ .

La integral en estas ecuaciones define el criterio de separación(contratación) endógena. Este implica que las relaciones laborales se crean o mantienen, si la esperanza de la utilidad de estar empleado ($E^R(x)$) neta de la opción externa (U^R) es mayor que cero, lo que depende de la realización de la productividad del trabajador, en el periodo siguiente. En el caso de los trabajadores desempleados, con probabilidad $p(\theta^R)$ obtuvieron un *match* al final del periodo anterior, y se decide su contratación endógena. En caso de ser contratado recibiría una ganancia de utilidad igual a la diferencia entre los valores de continuación del empleo y el desempleo, en caso contrario, se mantendría cómo desempleado. Por otro lado, en el caso de los trabajadores empleados, con probabilidad $(1 - \lambda)$ la relación laboral no es destruida exógenamente, y se decide la separación endógena.

C.1.2. Firmas

Las firmas perciben una utilidad contemporánea, en caso de tener una vacante llena, igual a $x - \omega^R(x)$, e incurren en un costo κ , en caso de mantener una vacante abierta en ese periodo. En ambos casos se suma el valor descontado de sus utilidades esperadas futuras.

$$J^R(x) = x - \omega^R(x) + \beta(1 - \delta) \left[(1 - \lambda) \int_0^\infty \text{Max}\{J^R(s) - V, 0\} dG(s) \right] + \beta V \quad (\text{C.3})$$

$$V = -\kappa + \beta(1 - \delta) \left[q(\theta^R) \int_0^\infty \text{Max}\{J^R(s) - V, 0\} dG(s) - q(\theta^R)(1 - G(\Psi^R))H \right] + \beta V \quad (\text{C.4})$$

Nuevamente, la integral en las ecuaciones define el criterio de separación(contratación) endógena. En el caso de las relaciones laborales existentes, con probabilidad $(1 - \lambda)$ esta no es destruida exógenamente, y en el caso de las vacantes, con probabilidad $q(\theta^R)$ la firma ha encontrado un *match* con un trabajador desempleado. Condicional en esto opera el criterio de separación endógena o de contratación endógena respectivamente. En el caso de contratar un trabajador la firma incurre en un costo fijo de contratación H , el cuál es específico al *match*. Este representa costos asociados a “aprender el *match*” como entrevistas u otros; y costos de puesta en marcha como capacitaciones, etc. En caso de que la relación laboral sea destruida o bien rechazada, exógenamente o endógenamente, o bien que el trabajador se jubile, entonces, el valor de continuación de la firma sería V^{38} .

³⁸ Por esta razón, el valor de continuación no está multiplicado por δ , en este caso.

C.1.3. Jubilados

$$O^R = b_0 + \beta [(1 - \xi)O^R + \xi D] \quad (\text{C.5})$$

Los jubilados recuperados perciben una utilidad contemporánea b_0 , a esta se suma el valor descontado de la utilidad futura. Estas personas pueden fallecer por causas naturales con probabilidad ξ en cada periodo, con lo que el valor de continuación sería D , o pueden continuar cómo jubilados recuperados con probabilidad $(1 - \xi)$.

C.2. Infectados

C.2.1. Trabajadores

En el modelo, las probabilidades de recuperarse o morir a causa de la enfermedad son constantes, debido a esto, las funciones de valor de los infectados son invariante en el tiempo, lo mismo ocurre en el caso de los jubilados infectados.

Los trabajadores infectados perciben una des-utilidad no monetaria, c . Por lo que, los trabajadores desempleados tienen una utilidad contemporánea $b - c$, a esta se suma el valor descontado de sus utilidades esperadas futuras desde un tiempo $t+1$ hasta infinito.

Los desempleados infectados no pueden buscar empleo, por lo que, con probabilidad π^R entran al periodo siguiente cómo desempleados recuperados, con probabilidad $(1 - \pi_R - \pi_D)$ entran al periodo siguiente como desempleados infectados, y con probabilidad π^D el trabajador muere. Se ha definido D como el valor de continuación de la muerte. En el caso de que jubilen al final del periodo, lo que ocurre con probabilidad δ , los valores de continuación serían O^R , D u O^I , en caso de que se recupere, muera o continúe como infectado respectivamente. Nótese que las probabilidades de obtener estos valores de continuación dependen de las probabilidades de recuperación y muerte de los trabajadores activos (y no de los jubilados), debido a que las transiciones hacia el retiro ocurren al final de cada periodo, al igual que las recuperaciones o muertes.

$$U^I = b - c + \beta(1 - \delta) [\pi_R U^R + \pi_D D + (1 - \pi_R - \pi_D) U^I] + \beta\delta [\pi_R O^R + \pi_D D + (1 - \pi_R - \pi_D) O^I] \quad (\text{C.6})$$

Los trabajadores empleados reciben una transferencia a suma alzada, proporcional a la productividad del trabajador (ηx , donde $\eta \in (0, 1)$). Además, un salario $\omega^I(x)$, el cual es negociado periodo a periodo y depende de la productividad del trabajador. El valor de este salario más la transferencia a suma alzada, $\omega^I(x) + \eta x$, es una aproximación al pago de una

*licencia médica*³⁹. A los flujos contemporáneos de utilidad se suma el valor descontado de sus utilidades esperadas futuras. El flujo contemporáneo de utilidad es $\omega^I(x) + \eta x - c$. En este caso, el criterio de separación endógena distingue entre los casos en que el trabajador se ha recuperado, al final del periodo anterior, y en el que el trabajador continúa infectado. En el primer caso (en que el trabajador se recupera), opera sobre las funciones de valor de un trabajador recuperado. En el segundo caso (en el que el trabajador continúa como infectado), actúa sobre las de un trabajador infectado.

$$\begin{aligned}
E^I(x) &= \omega^I(x) + \eta x - c \\
&+ \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \left[\pi_R \int_0^\infty \text{Max}\{E^R(s) - U^R, 0\} dG(s) \right. \\
&+ (1 - \pi_R - \pi_D) \int_0^\infty \text{Max}\{E^I(s) - U^I, 0\} dG(s) \left. \right] \\
&+ \beta(1 - \delta) \left[\pi_R U^R + \pi_D D + (1 - \pi_R - \pi_D) U^I \right] \\
&+ \beta \delta \left[\pi_R O^R + \pi_D D + (1 - \pi_R - \pi_D) O^I \right]
\end{aligned} \tag{C.7}$$

Note que los valores de continuación en caso de ser separado, endógenamente o exógenamente, y en caso de jubilar, son idénticos al caso de un trabajador desempleado infectado (4ª y 5ª fila de la ecuación C.7, 2ª y 3ª de la ecuación C.6).

C.2.2. Firmas

Ya que en el estado infectado los trabajadores no pueden buscar empleo, no hay creación de empleo.

Al tener una vacante llena con un trabajador infectado, este último no produce, por lo que el flujo de utilidad contemporáneo de la firma es sólo $-\omega^I(x)$. A este flujo de utilidad se le suma el valor descontado de sus utilidades esperadas futuras. Al igual que el caso de los trabajadores infectados, el criterio de separación endógena distingue si el trabajador se recupera o continúa infectado. En cualquier caso que la relación laboral termine, ya sea por separación endógena o exógena, o porque el trabajador jubile o fallezca, el valor de continuación de la firma será V .

$$\begin{aligned}
J^I(x) &= -\omega^I(x) \\
&+ \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \left[\pi_R \int_0^\infty \text{Max}\{J^R(s) - V, 0\} dG(s) \right. \\
&+ (1 - \pi_R - \pi_D) \int_0^\infty \text{Max}\{J^I(s) - V, 0\} dG(s) \left. \right] + \beta V
\end{aligned} \tag{C.8}$$

³⁹ En Chile la licencia médica paga el salario completo por día, para todas las licencias que sean superior o igual a 11 días (para licencias menores no paga los primeros 3 días).

C.2.3. Jubilados

Los jubilados infectados reciben un flujo contemporáneo de utilidad $b_O - c$, donde c es la des-utilidad que provoca la enfermedad. En los periodos futuros: con una probabilidad aumentada $(\pi_D^O + \xi)$ puede fallecer, recibiendo el valor de continuación D ; con probabilidad $(1 - \xi)\pi_R^O$ el jubilado no fallece y se recupera, con lo que el valor de continuación es O^R ; y con probabilidad $(1 - \xi)(1 - \pi_R^O - \pi_D^O)$ el jubilado continua infectado, recibiendo el valor de continuación O^I .

$$O^I = b_0 - c + \beta \left[(\pi_D^O + \xi)D + (1 - \xi)\pi_R^O O^R + (1 - \xi)(1 - \pi_R^O - \pi_D^O)O^I \right] \quad (C.9)$$

C.3. Susceptibles

C.3.1. Trabajadores

Al igual que en los casos anteriores, se reflejan los valores de continuación como ganancias o pérdidas de utilidad sobre el valor de estar desempleado. En este caso, las probabilidades de infección varían en el tiempo conforme evoluciona la pandemia, por esto, las funciones de valor varían en el tiempo.

Los trabajadores desempleados susceptibles perciben un flujo de utilidad contemporáneo igual a b . En el periodo siguiente, con probabilidad $p(\theta_t^S)$ ha ocurrido un *match*, si adicionalmente el trabajador no se ha infectado (lo que ha ocurrido con probabilidad $(1 - \pi_t^{UI})$), opera el criterio de separación endógena. Si el trabajador se infecta, el valor de continuación es U_{t+1}^I . en cambio, en caso de que no sea contratado y no se infecte, el valor de continuación es U_{t+1}^S . Nótese que está implícito el supuesto de que si un trabajador desempleado se infecta en el mismo periodo que encuentra el *match*, entonces, la relación laboral no puede concretarse. Si el trabajador se jubila, puede entrar al periodo siguiente como jubilado susceptible, en caso de que no se haya contagiado, o como jubilado infectado, en caso de que se haya infectado. Nótese también, que los valores de continuación en caso de jubilar están multiplicados por las probabilidades de infección de los trabajadores activos, ya que los contagios ocurren al final de cada periodo.

En estas ecuaciones es más claro notar los supuestos temporales del modelo, en que los *match* e infecciones ocurren al final del periodo t , y la revelación de la productividad idiosin-

crática al comienzo del periodo $t+1$.

$$\begin{aligned}
U_t^S &= b + \beta(1 - \delta) \left[p(\theta_t^S)(1 - \pi_t^{UI}) \int_0^\infty \text{Max}\{E_{t+1}^S(s) - U_{t+1}^S, 0\} dG(s) \right. \\
&\quad \left. + \pi_t^{UI} U^I + (1 - \pi_t^{UI}) U_{t+1}^S \right] \\
&\quad + \beta\delta \left[(1 - \pi_t^{UI}) O_{t+1}^S + \pi_t^{UI} O^I \right]
\end{aligned} \tag{C.10}$$

En el caso de los trabajadores empleados susceptibles, reciben su salario $\omega^S(x)$, el cual es negociado periodo a periodo y depende de su productividad idiosincrática. En el periodo siguiente, el criterio de separación endógena distingue los casos en los cuales el trabajador se infecta o continua como susceptible. En la cuarta fila de la ecuación se observan los valores de continuación correspondientes a la opción externa del trabajador, los cuales están multiplicados por la probabilidad de infectarse, o no, de un trabajador empleado. Los valores de continuación condicional en que un trabajador jubila, también están multiplicados por la probabilidad de infectarse, o no, de un empleado susceptible, lo que se observa en la quinta fila.

Nótese que a diferencia del caso de los trabajadores recuperados e infectados, los valores esperados de continuación correspondientes a la opción externa (en caso de no ser contratado), son distintos para desempleados y empleados, debido a que las probabilidades de contagio son distintas para ambos. Adicionalmente, los valores de continuación en caso de jubilar también difieren para estos grupos, por la misma razón.

$$\begin{aligned}
E_t^S(x) &= \omega_t^S(x) \\
&\quad + \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \left[(1 - \pi_t^{EI}) \int_0^\infty \text{Max}\{E_{t+1}^S(s) - U_{t+1}^S, 0\} dG(s) \right. \\
&\quad \left. + \pi_t^{EI} \int_0^\infty \text{Max}\{E^I(s) - U^I, 0\} dG(s) \right] \\
&\quad + \beta(1 - \delta) \left[\pi_t^{EI} U^I + (1 - \pi_t^{EI}) U_{t+1}^S \right] \\
&\quad + \beta\delta \left[(1 - \pi_t^{EI}) O_{t+1}^S + \pi_t^{EI} O^I \right]
\end{aligned} \tag{C.11}$$

C.3.2. Firmas

Para el caso de una vacante llena, el flujo de utilidad contemporáneo es igual a $x - \omega_t^S(x)$. El criterio de separación endógena distingue los casos en que el trabajador se infecta o si continua susceptible. En cualquier caso que la relación laboral termina, ya sea por separación

o por jubilación, el valor de continuación de la firma será V .

$$\begin{aligned}
J_t^S(x) &= x - \omega_t^S(x) \\
&+ \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \left[\pi_t^{EI} \int_0^\infty \text{Max}\{J^I - V, 0\} dG(s) \right. \\
&\left. + (1 - \pi_t^{EI}) \int_0^\infty \text{Max}\{J_{t+1}^S(s) - V, 0\} dG(s) \right] + \beta V
\end{aligned} \tag{C.12}$$

En el caso de una vacante abierta, el flujo de utilidad contemporáneo es igual a $-\kappa$. Existe un criterio de contratación endógeno que opera en caso de que ocurra un *match* con un trabajador desempleado, y que este no se haya infectado. Hay un costo fijo de contratación H , el cuál se paga antes de conocer la productividad idiosincrática del trabajador. En cualquier caso que la relación laboral termine, el valor de continuación de la firma será V .

$$\begin{aligned}
V_t &= -\kappa - \beta(1 - \delta)q(\theta_t^S)(1 - \pi_t^{UI})(1 - G(\Psi_{t+1}^S))H \\
&+ \beta(1 - \delta)q(\theta_t^S)(1 - \pi_t^{UI}) \int_0^\infty \text{Max}\{J_{t+1}^S(s) - V, 0\} dG(s) + \beta V
\end{aligned} \tag{C.13}$$

C.3.3. Jubilados

En este caso, el flujo de utilidad contemporáneo es b_O . En los periodos futuros, con probabilidad ξ el jubilado puede fallecer. En caso de que no fallezca, con probabilidad π_t^{OI} el jubilado se infecta, con lo que el valor de continuación es O^I ; y con probabilidad $(1 - \pi_t^{OI})$ continua como jubilado susceptible.

$$O_t^S = b_0 + \beta \left[\xi D + (1 - \xi)\pi_t^{OI}O^I + (1 - \xi)(1 - \pi_t^{OI})O_{t+1}^S \right] \tag{C.14}$$

Anexo D. Notas sobre el equilibrio

D.1. Fase recuperado

Se puede calcular un *salario de reserva*, el que se interpreta como un salario bajo el cual un trabajador elegiría continuar desempleado. Este, se calcula resolviendo $E^R(\bar{\omega}^R) = U^R$. Como se observa, el salario de reserva es independiente de la productividad idiosincrática del trabajador:

$$\bar{\omega}^R = b - \beta(1 - \delta) \left((1 - \lambda) - p(\theta) \right) \phi \int_{\Psi^R}^\infty S^R(s) dG(s) \tag{D.1}$$

El salario de reserva depende del flujo de utilidad contemporáneo que obtendría de seguir desempleado, b . Aumenta debido a que con probabilidad $p(\theta^R)$ podría obtener un *match* en el periodo siguiente y, en consecuencia, llevarse una fracción ϕ del excedente, en caso de que

su productividad sea lo suficientemente grande. En cambio, disminuye debido a que en el periodo siguiente, con probabilidad $(1 - \lambda)$, el empleo que está rechazando hoy podría no ser destruido exógenamente. Como se puede ver, el salario de reserva depende del valor esperado de la fracción del *match* que podría obtener el periodo siguiente, no de su productividad idiosincrática en el periodo actual.

Siguiendo a Pissarides (2000), con un poco de álgebra, se observa que la productividad de reserva es menor al salario de reserva:

$$\Psi^R = \bar{\omega}^R - \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \int_{\Psi^R}^{\infty} J^R(s) dG(s)$$

Esto se debe a la posibilidad de que la productividad del trabajador mejore en el periodo siguiente, lo cual es representado por el segundo término en esta última ecuación. Así, la firma conserva algunos trabajadores improductivos, dada la esperanza de que la relación laboral no sea destruida exógenamente, y la productividad mejore. De este modo, evita el costo de buscar un trabajador por un periodo más, y puede comenzar la producción inmediatamente. Esto fue llamado “acaparamiento de mano de obra” (*Labor Hoarding*), por Pissarides (2000).

D.2. Fase infectado

De manera análoga a la fase recuperado, se calcula un “ingreso de reserva” igualando $E^I(\bar{I}) = U^I$, donde el ingreso está dado por la ecuación 7.c. Este ingreso de reserva también es independiente de la productividad, y se puede representar como un ingreso bajo el cual el trabajador prefiere renunciar a su empleo:

$$\bar{I} = b - \beta(1 - \delta)(1 - \lambda)\phi \left[\pi_R \int_{\Psi^R}^{\infty} S^R(s) dG(s) + (1 - \pi_R - \pi_D) \int_{\Psi^I}^{\infty} S^I(s) dG(s) \right] \quad (D.2)$$

El ingreso de reserva, en este caso, es menor que en la fase recuperado, debido a que los trabajadores infectados no pueden buscar empleo. Es menor al ingreso no laboral, debido a la probabilidad de que el empleo no sea destruido exógenamente y obtener una fracción ϕ del valor esperado del *match*, en el periodo siguiente.

Con un poco de álgebra, al igual que en la fase recuperado se observa que $\eta\Psi^I$ es menor que el ingreso de reserva, D.2:

$$\eta\Psi^I = \bar{I} - \beta(1 - \lambda) \left[\pi_R \int_{\Psi^R}^{\infty} J^R(s) dG(s) + (1 - \pi_R - \pi_D) \int_{\Psi^I}^{\infty} J^I(s) dG(s) \right]$$

Donde se observa nuevamente el efecto del acaparamiento de mano de obra (*Labor Hoarding*).

D.3. Fase susceptible

Análogamente a la fase recuperado, se calcula el salario de reserva resolviendo, $E_t^S(\bar{\omega}^S) = U_t^S$:

$$\begin{aligned} \bar{\omega}^S = & b + \beta(1 - \delta)p(\theta_t^S)(1 - \pi_t^{UI})\phi \int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} S_{t+1}^S(s)dG(s) \\ & - \beta(1 - \delta)(1 - \lambda)\phi \left[\pi_t^{EI} \int_{\Psi^I}^{\infty} S^I(s)dG(s) + (1 - \pi_t^{EI}) \int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} S_{t+1}^S(s)dG(s) \right] \\ & - \beta(1 - \delta)(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^S - \beta\delta(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^O \end{aligned} \quad (D.3)$$

Al igual que en las fases anteriores, se observa que la productividad de reserva, 8.d, es menor al salario de reserva, D.3, debido al efecto del acaparamiento de mano de obra (*Labor Hoarding*):

$$\Psi_t^S = \bar{\omega}^S - \beta(1 - \delta)(1 - \lambda) \left[\pi_t^{EI} \int_{\Psi^I}^{\infty} J^I(s)dG(s) + (1 - \pi_t^{EI}) \int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} J_{t+1}^S(s)dG(s) \right] \quad (D.4)$$

Para resolver el modelo se necesita explícitamente calcular U^I y O^I , lo qué está dado por:

$$U^I = \frac{b - c + \beta(1 - \delta) (\pi_R U^R + \pi_D D) + \beta\delta (\pi_R O^R + \pi_D D + (1 - \pi_R + \pi_D) O^I)}{1 - \beta(1 - \delta)(1 - \pi_R - \pi_D)}$$

y:

$$O^I = \frac{b_0 - c + \beta [(\pi_D^O + \xi)D + (1 - \xi)\pi_R^O O^R]}{1 - \beta(1 - \xi)(1 - \pi_R^O - \pi_D^O)}$$

con:

$$\begin{aligned} U^R &= (1 - \beta(1 - \delta))^{-1} \left[b + \frac{\phi}{1 - \phi} \theta^R (\kappa + \beta(1 - \delta)q(\theta^R)H) + \beta\delta O^R \right] \\ O^R &= (1 - \beta(1 - \xi))^{-1} (b_0 + \beta\xi D) \end{aligned}$$

D.4. Estado estacionario

Se caracteriza una economía pre-pandémica, en la cual toda la población es susceptible, no hay infectados aún, y por ende, ni recuperados ni fallecidos.

$$Pob_t = N_t + O_t = S_t = 1,233; \quad I_t = R_t = P_t = D_t = 0$$

Se definen las “probabilidades de transición” en estado estacionario:

$$\bar{f} = p(\theta^{ES})(1 - G(\Psi^{ES})) \quad (D.5)$$

$$\bar{s} = \lambda + (1 - \lambda)G(\Psi^{ES}) \quad (\text{D.6})$$

Donde θ^{ES} y Ψ^{ES} son los valores de la “estrechez de mercado” y de la “productividad de reserva” de estado estacionario. Tomando las probabilidades de transición en estado estacionario, se calcula la “curva de Beveridge”⁴⁰:

$$u^{ES} = \frac{\bar{s}}{\bar{f} + \bar{s}}$$

El equilibrio de estado estacionario del modelo está dado por:

Condición de Creación de Empleo:

$$(1 - \phi) \int_{\Psi^{ES}}^{\infty} (s - \Psi^{ES}) dG(s) = \frac{\kappa}{\beta(1 - \delta)q(\theta^{ES})} + (1 - G(\Psi^{ES}))H \quad (\text{D.7})$$

Condición de Destrucción de Empleo:

$$\Psi^{ES} = b - \beta(1 - \delta)(1 - \lambda - p(\theta^{ES})\phi) \int_{\Psi^{ES}}^{\infty} (s - \Psi^{ES}) dG(s) \quad (\text{D.8})$$

Para resolver el modelo, se necesita calcular los valores de estado estacionario post-pandémico de $\{\theta^{ES}, \Psi^{ES}, \Delta^{S,ES}, \Delta^{O,ES}\}$ ⁴¹. Dado que la solución de la fase recuperado no depende de las probabilidades de infección y esta es invariante en el tiempo, entonces, es correcto afirmar que el equilibrio de estado estacionario post pandémico, de la estrechez de mercado y de la productividad de reserva, será igual al equilibrio de la fase recuperado. Por otro lado, las ecuaciones 8.e y 8.f implican que:

$$\begin{aligned} \Delta^{S,ES} = & (1 - \beta(1 - \delta))^{-1} \left[(1 - \beta(1 - \delta))U^I - b - \frac{\phi}{1 - \phi}\theta^R (\kappa + \beta(1 - \delta)q(\theta^R)H) \right] \\ & + (1 - \beta(1 - \delta))^{-1} (\Delta^{O,ES} - O^I) \end{aligned} \quad (\text{D.9})$$

$$\Delta^{O,ES} = (1 - \beta(1 - \xi))^{-1} [(1 - \beta(1 - \xi))O^I - b_0 - \beta\xi D] \quad (\text{D.10})$$

O lo que es equivalente: $\Delta^{S,ES} = U^I - U^R$ y $\Delta^{O,ES} = O^I - O^R$.

Nótese aquí, que aunque en el estado estacionario post pandémico el número de susceptibles ya no será igual a la población total ($S_T < P_{obT}$), ya que una fracción de ellos habrá pasado por la infección y luego se habrá recuperado o muerto; y tampoco “la fuerza de trabajo”, N_T , será igual 1, ya que una fracción de los trabajadores habrá muerto. Sin embargo, tendrá en común con el estado estado estacionario pre-pandémico que el número de infectados será cero, $I_T = 0$. Por lo tanto, es correcto afirmar que el equilibrio de estado estacionario

⁴⁰ Esto viene de notar que, en estado estacionario, el flujo de trabajadores del empleo al desempleo y del desempleo al empleo es constante, así: $ES = (1 - \bar{s})ES + \bar{f}US$, y $US = (1 - \bar{f})US + \bar{s}ES$, además, $u^{ES} = US$, esto último debido a que $US + ES = 1$.

⁴¹ “ES” denota al estado estacionario.

pre pandémico y el estado estacionario post pandémico, de la productividad de reserva y de la estrechez de mercado, es el mismo.

Anexo E. Notas sobre los resultados

E.1. Excedente Esperado

$$\int_{\Psi^R}^{\infty} S^R(s) dG(s) = \frac{y - b}{\frac{1}{1-G(\Psi^R)} - \beta(1-\delta)(1-\lambda - p(\theta^R)\phi)} \quad (\text{E.1})$$

$$\int_{\Psi^I}^{\infty} S^I(s) dG(s) = \frac{\eta y - b + \beta(1-\delta)(1-\lambda)\pi_R \int_{\Psi^R}^{\infty} S^R(s) dG(s)}{\frac{1}{1-G(\Psi^I)} - \beta(1-\delta)(1-\lambda)(1-\pi_R - \pi_D)} \quad (\text{E.2})$$

$$\begin{aligned} \int_{\Psi_t^S}^{\infty} S_t^S(s) dG(s) = & (1 - G(\Psi_t^S)) \left[y - b + \beta(1-\delta)(1-\lambda)\pi_t^{EI} \int_{\Psi^I}^{\infty} S^I(s) dG(s) + f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O) \right. \\ & \left. + \beta(1-\delta) \left((1 - \pi_t^{EI})(1-\lambda) - (1 - \pi_t^{UI})p(\theta_t^S)\phi \right) \int_{\Psi_{t+1}^S}^{\infty} S_{t+1}^S(s) dG(s) \right] \end{aligned} \quad (\text{E.3})$$

Donde se define $y \equiv \mathbb{E}[x|x > \Psi^A]$,

y $f(\Delta_{t+1}^S, \Delta_{t+1}^O) \equiv \beta(1-\delta)(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^S + \beta\delta(\pi_t^{EI} - \pi_t^{UI})\Delta_{t+1}^O$.

Excedente esperado

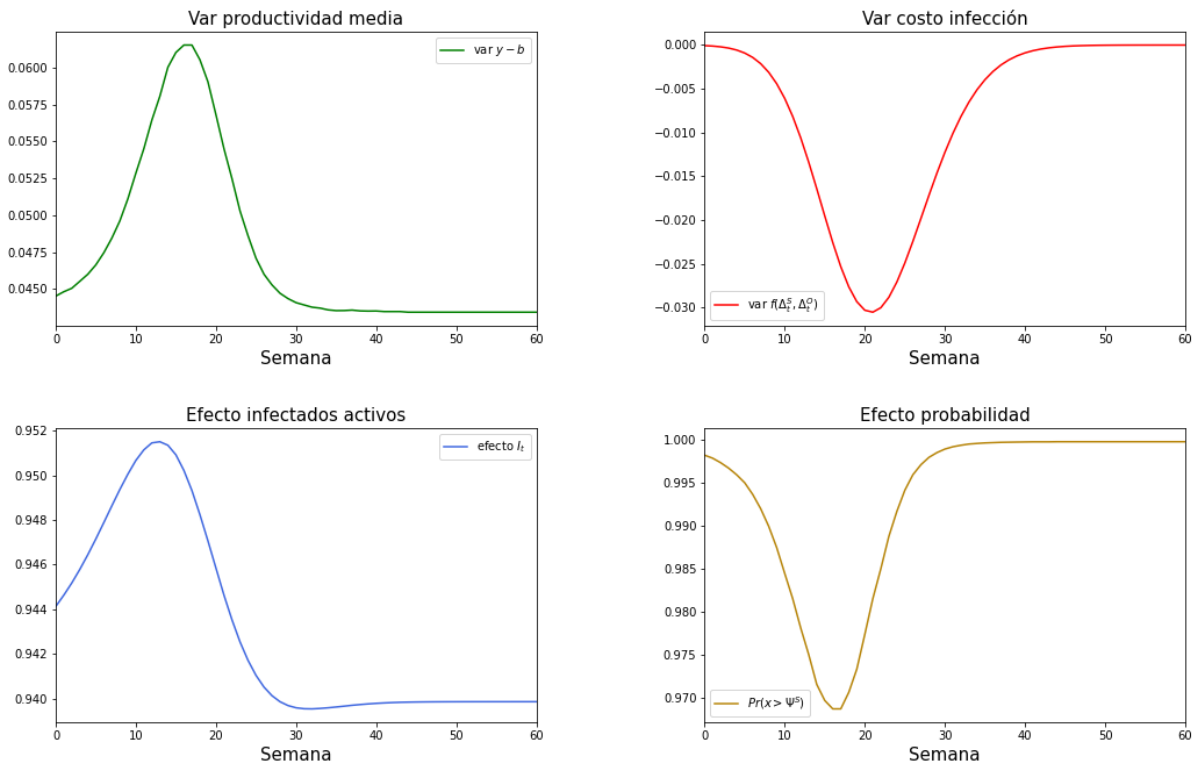


Figura E.1: Descomposición de la variación del excedente en susceptibles.

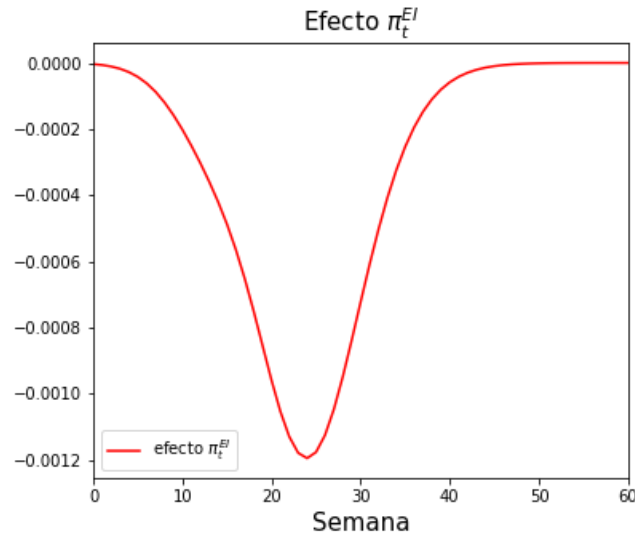


Figura E.2: Comparación del efecto probabilidad de infección en excedente susceptibles.

E.2. Productividad de reserva y estrechez de mercado

Creación de empleo

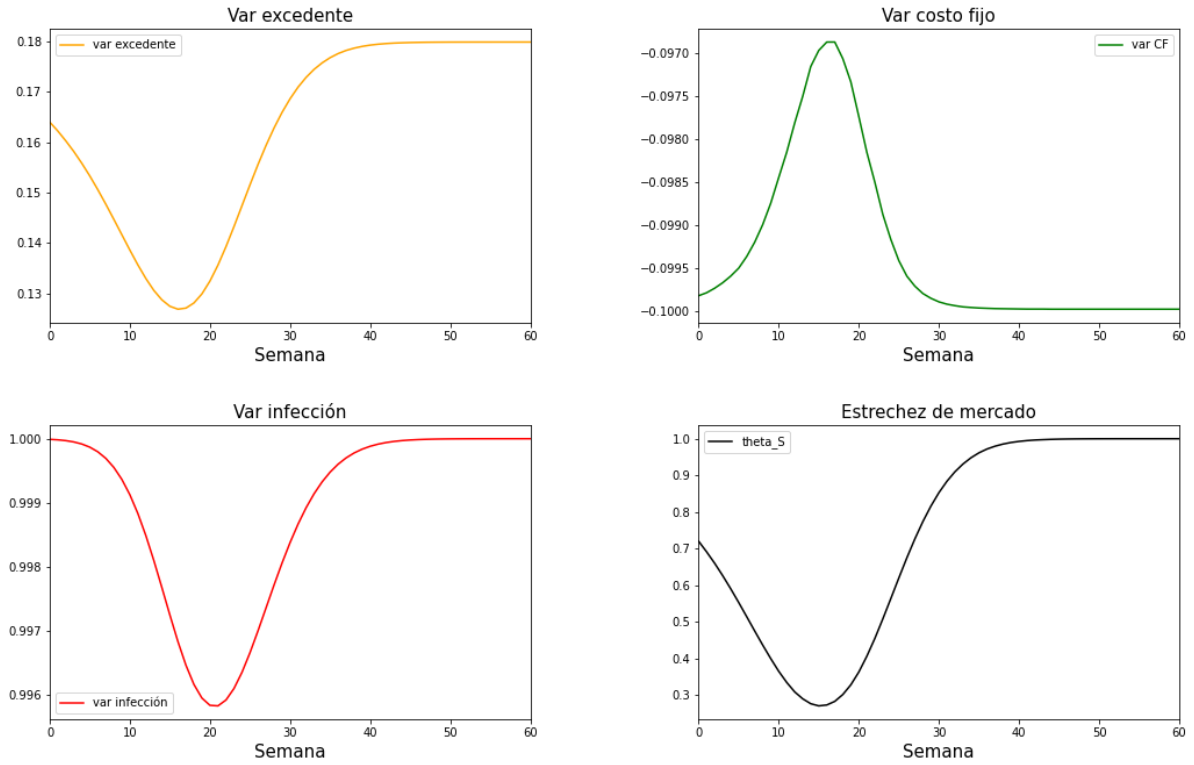


Figura E.3: Descomposición de la variación de la estrechez de mercado.

Destrucción de empleo

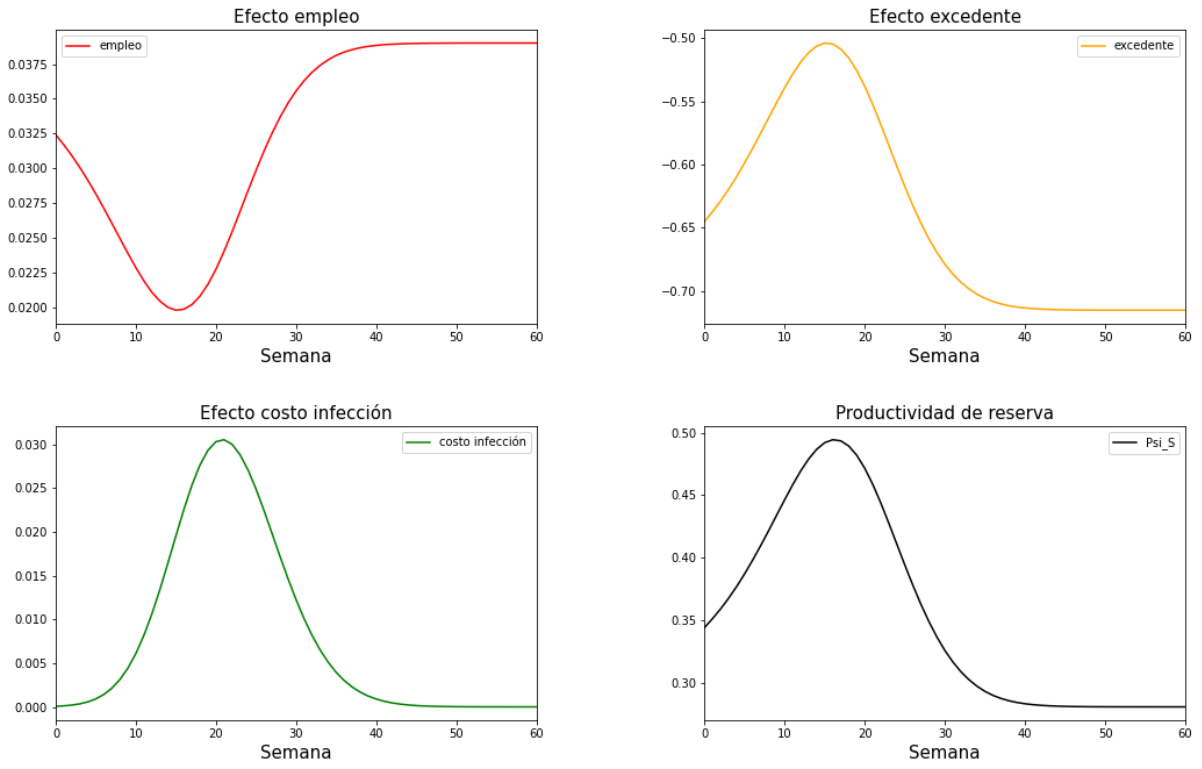


Figura E.4: Descomposición de la variación de la productividad de reserva.

E.3. Vacantes

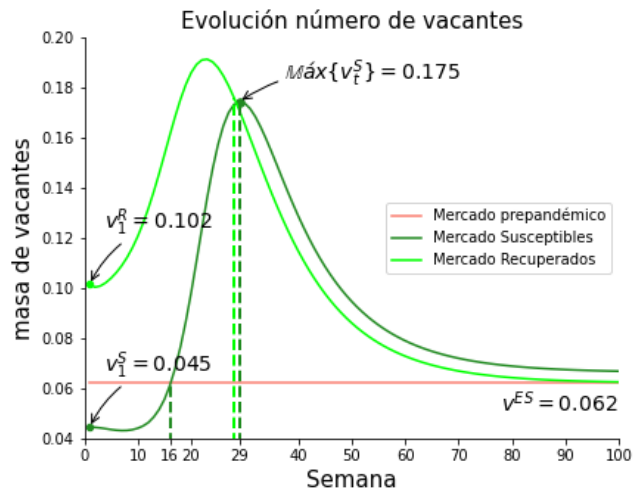


Figura E.5: Evolución de la masa de vacantes.

E.4. Salario

Salario Susceptibles

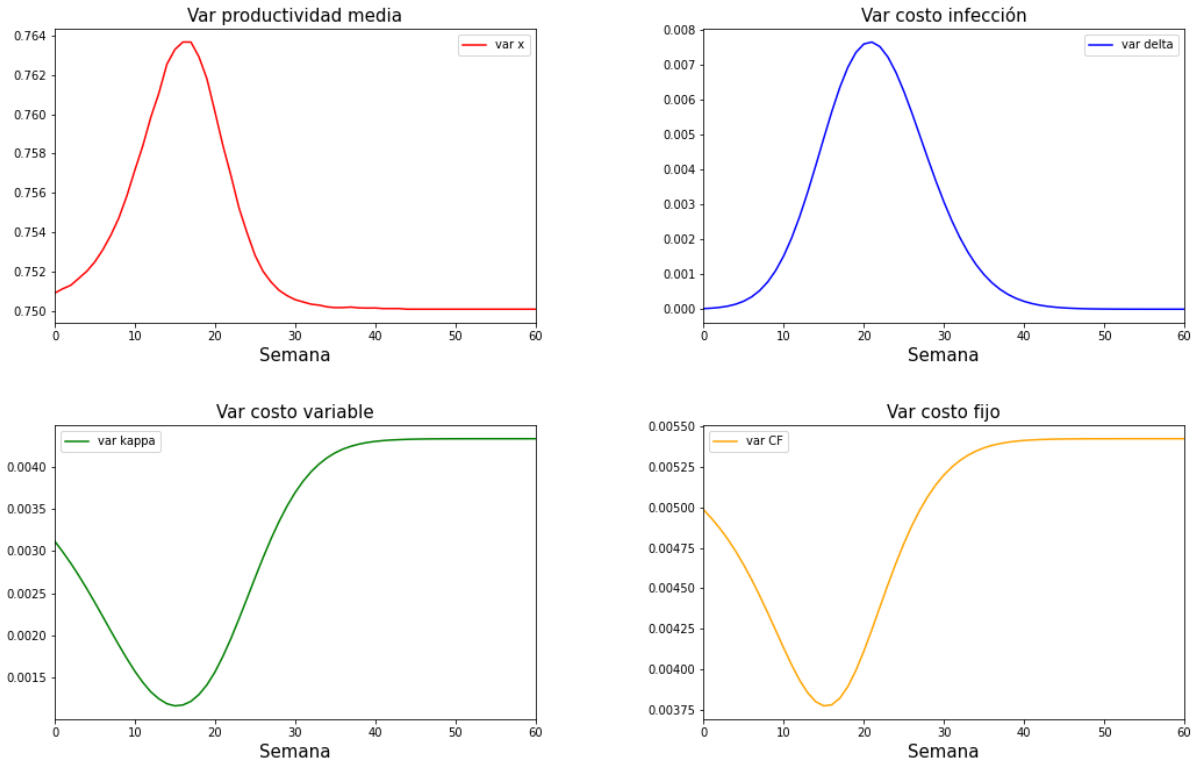
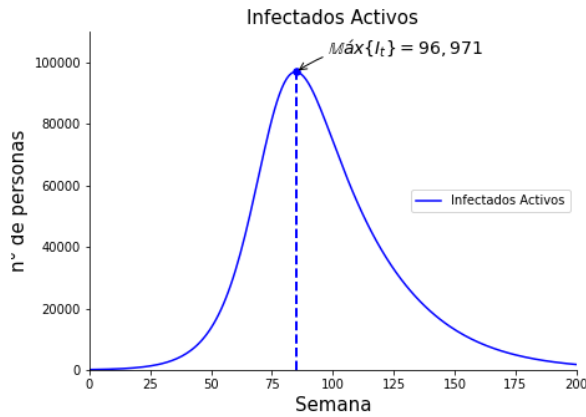
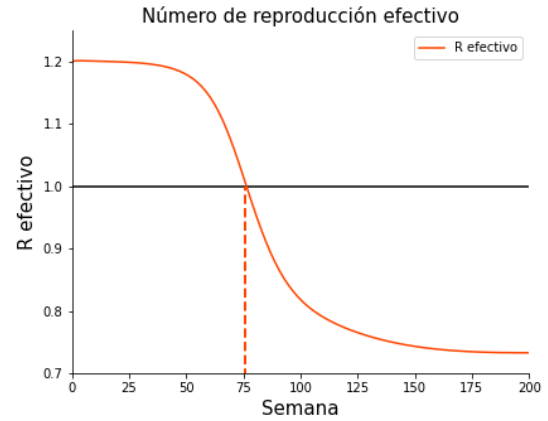


Figura E.6: Descomposición de la variación del salario promedio de susceptibles.

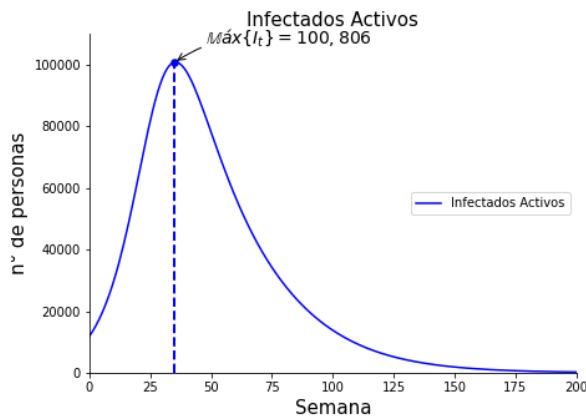
E.5. Robustez en la elección de parámetros epidemiológicos



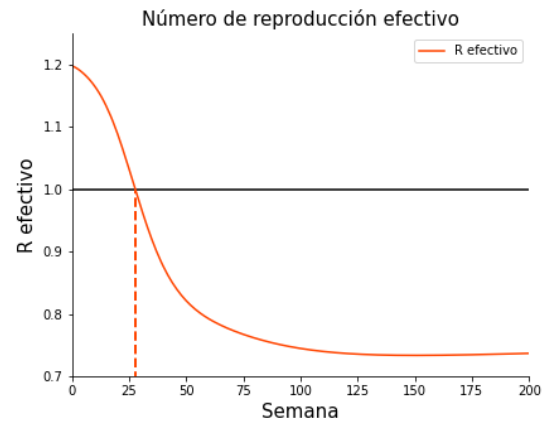
(a) Infectados activos, sin parámetro de protección.



(b) Número de reproducción efectivo, sin parámetro de protección.



(c) Infectados activos, sin parámetro de protección y cantidad mayor de infectados inicial.



(d) Número de reproducción efectivo, sin parámetro de protección y cantidad mayor de infectados inicial.

Figura E.7: Número de producción básico y parámetro de protección.

Anexo F. Nota metodológica

F.1. Mercado laboral con separación endógena, entrada costosa y costos fijos de contratación

En esta pequeña sección se introducirá el modelo Diamond-Mortensen-Pissarides, D-M-P, con separación endógena (Diamond, 1982, Mortensen y Pissarides, 1994, Pissarides, 1985, 2000).

El equilibrio del mercado laboral contempla una constante destrucción y creación de empleo, la presencia de firmas buscando llenar vacantes y de desempleados buscando empleo. Este proceso, en que una vacante se llena con un trabajador que cumpla con las características adecuadas, toma tiempo y esfuerzo. Esto implica un flujo constante desde y hacia el desempleo, por esta causa, en equilibrio existe una cantidad siempre positiva de desempleados y vacantes.

El proceso descrito se modela a través de una “función de *matching*”, que simula el número de encuentros que se producen en el mercado laboral entre un trabajador desempleado, u , y una vacante adecuada, v . Esta función, $m = M(u, v)$, es creciente en ambos argumentos, es decir, al aumentar el número de desempleados y/o de vacantes, entonces, el número de encuentros aumenta. De esto se desprende que trabajadores y firmas enfrentan distintas probabilidades de encontrar un *match*. La probabilidad de encontrar empleo para el trabajador es $p = m/u$, disminuye cuantos más desempleados existan. Del mismo modo, la probabilidad de llenar una vacante para una firma es $q = m/v$, disminuye cuantas más vacantes existan. Entonces, existe un problema de congestión, el que consiste en que el beneficio de abrir vacantes para la firma disminuye a medida que estas se crean, lo que necesariamente lleva a un número óptimo de vacantes, y a un equilibrio con desempleados y vacantes al mismo tiempo.

Se asume usualmente que la función de *matching* posee retornos constantes a escala, con lo que las probabilidades, de encontrar empleo y de llenar una vacante, se pueden escribir en función de un único argumento, el ratio v-u, $\theta = \frac{v}{u}$, llamado “estrechez de mercado”. Entonces, $\frac{M(u, v)}{v} = M(\frac{1}{\theta}, 1) = q(\theta)$, y $\frac{M(u, v)}{u} = M(1, \theta) = \theta q(\theta) = p(\theta)$, donde $q(\theta)$ es decreciente en θ y $p(\theta)$ es creciente en el argumento.

En un modelo con separación endógena y en tiempo discreto, se asume que los trabajadores tienen una productividad idiosincrática, x , que cambia periodo a periodo y es asignada i.i.d. desde una función de distribución $G(x)$. La realización de esta variable aleatoria no afecta la función de *matching*, sin embargo, afecta la creación y destrucción de empleo. En el equilibrio, ambos lados del mercado laboral definirán una misma “productividad de reserva”, Ψ . Para cualquier nivel de la productividad menor a la de reserva no se crearán ni se mantendrán las relaciones laborales.

La economía está poblada por un continuo de trabajadores de masa uno, y una única firma que produce un único bien. La firma puede abrir vacantes para contratar empleados, así, los trabajadores podrán estar en el estado de empleado o desempleado, y una vacante podrá estar vacía o llena (y produciendo). Los agentes de la economía son neutrales al riesgo y descuentan el futuro a tasa β . Las funciones de utilidad en cada uno de los cuatro estados se modelan a través de funciones de *Bellman*⁴². El modelo llega a un equilibrio en estado estacionario, por lo que se suprimen los sub-índices temporales.

⁴² Empleado {E}, desempleado {U}, vacante llena (y en producción) {J} y vacante abierta {V}.

Los trabajadores empleados reciben su salario $\omega(x)$, el cuál es negociado periodo a periodo y es dependiente en la productividad idiosincrática. En cada periodo, las relaciones laborales pueden ser destruidas de manera exógena con probabilidad λ . En caso de que el empleo no sea destruido por una causa exógena, la relación laboral continuará solo si $E(x) - U > 0$, lo que depende de la realización de la productividad idiosincrática en el periodo siguiente:

$$E(x) = \omega(x) + \beta \left[(1 - \lambda) \int \text{Max}\{(E(s) - U), 0\} dG(s) + U \right]$$

Una vacante llena genera producción igual a la productividad idiosincrática del trabajador⁴³, x . La firma se compromete a pagar el salario al trabajador contratado, por lo que recibe un flujo contemporáneo de utilidad igual a $x - \omega(x)$. En el periodo siguiente, el empleo puede ser destruido por causas exógenas, con probabilidad λ , y por causa endógena cuando $J(x) - V < 0$:

$$J(x) = x - \omega(x) + \beta \left[(1 - \lambda) \int \text{Max}\{(J(s) - V), 0\} dG(s) + V \right]$$

Las opción externa del trabajador es tal que estando desempleado recibe un flujo de utilidad igual a b , con probabilidad $p(\theta)$ puede encontrar un *match* con una vacante, y la relación laboral será aceptada en caso de que el valor de continuación del empleo sea mayor al valor de continuación del desempleo:

$$U = b + \beta \left[p(\theta) \int \text{Max}\{(E(s) - U), 0\} dG(s) + U \right]$$

El valor de una vacante es abierta es tal que, en cada periodo, la firma percibe un costo κ por mantenerla abierta, con probabilidad $q(\theta)$ puede encontrar un *match* con un trabajador, y la relación laboral será aceptada en caso de que el valor de continuación de una vacante llena sea mayor al valor de continuación de una vacante abierta. Además, siguiendo a Pissarides (2009), se incorpora costo fijo H en caso de contratar a un trabajador, el cual representa gastos relacionados a “aprender” la calidad del *match*:

$$V = -\kappa + \beta \left[q(\theta) \int \text{Max}\{(J(s) - V), 0\} dG(s) + V - q(\theta)(1 - G(\Psi))H \right]$$

Del valor de una vacante abierta se desprende la condición de creación de empleo, en que se iguala el beneficio esperado de llenar una vacante al costo esperado de abrir una vacante:

$$\int \text{Max}\{(J(s) - V), 0\} dG(s) = \frac{(1 - \beta)V + \kappa}{\beta q(\theta)} + (1 - G(\Psi))H$$

Periodo a periodo, la firma y trabajador negocian el salario en función del reparto del excedente, el cual es definido como la suma del valor del empleo para la firma y trabajador, neto

⁴³ Con lo que se asume que la productividad agregada es constante y normalizada a uno.

de sus opciones externas, i.e., $S(x) = (E(x) - U) + (J(x) - V)$:

$$S(x) = x - b + \beta(1 - \lambda) \int \text{Max}\{S(s), 0\}dG(s) - p(\theta) \int \text{Max}\{(E(s) - U), 0\}dG(s) - (1 - \beta)V$$

Ambas partes se reparten este excedente a través de una “negociación de Nash”, la que tiene como resultado conocido: $(E(x) - U) = \phi S(x)$ y $(J(x) - V) = (1 - \phi)S(x)$, con ϕ el poder de negociación del trabajador. Luego de un poco de álgebra se obtiene la ecuación para el salario:

$$\omega(x) = (1 - \phi)b + \phi(x - (1 - \beta)V + \theta(\kappa + (1 - \beta)V + \beta q(\theta)(1 - G(\Psi))H))$$

Obsérvese, que en comparación con el modelo canónico con libre entrada y sin costo fijo de contratación, aquí el costo efectivo por periodo de una vacante abierta es $\kappa + (1 - \beta)V + \beta q(\theta)(1 - G(\Psi))H$, el cual entra en el salario de la forma usual. Además, la entrada costosa ($V > 0$) incrementa la opción externa de la firma, reduciendo el valor del *match* y afectando la negociación del salario, el cual se ve reducido en una cantidad $\phi(1 - \beta)V$.

Debido a la naturaleza i.i.d. de las realizaciones de la productividad idiosincrática, entonces, en el óptimo tanto el trabajador como la firma fijan una única productividad de reserva, Ψ . Para cualquier valor menor a esta, las relaciones laborales terminarán (o no serán concretadas), es decir $S(\Psi) = 0$ ⁴⁴, así el excedente queda escrito como:

$$S(x) = x - b + \beta(1 - \lambda - p(\theta)\phi) \int_{\Psi}^{\infty} S(s)dG(s) - (1 - \beta)V$$

Seguendo a Pissarides (2000): $S(x) - S(\Psi) \Rightarrow S(x) = x - \Psi$. El equilibrio queda definido por un “contrato”, el que queda representado por el salario en cada periodo, $\omega(x)$, y una productividad de reserva en cada periodo, Ψ . Luego, haciendo uso de la condición $S(\Psi) = 0$, es posible despejar la productividad de reserva y reescribir la condición de creación de empleo:

$$\begin{aligned} \Psi &= b + (1 - \beta)V - \beta(1 - \lambda - p(\theta)\phi) \int_{\Psi}^{\infty} (s - \Psi)dG(s) \\ (1 - \phi) \int_{\Psi}^{\infty} (s - \Psi)dG(s) &= \frac{(1 - \beta)V + \kappa}{\beta q(\theta)} + (1 - G(\Psi))H \end{aligned}$$

Estas ecuaciones son llamadas “condición de destrucción de empleo” y “condición de creación de empleo” en Pissarides (2000), estas en conjunto definen un equilibrio en el espacio (Ψ, θ) .

Cabe notar, que las probabilidades de transición desde y hacia el desempleo quedan compuestas por: la suma de la probabilidades exógena y endógena de destrucción de empleo, en el caso de la probabilidad de transición desde el empleo al desempleo; y la probabilidad conjunta de que ocurra un *match* para el trabajador y que la productividad sea mayor a la

⁴⁴ A la vez es cierto que $(E(\Psi) - U) = 0$ y $(J(\Psi) - V) = 0$.

de reserva, en el caso de la probabilidad de transición desde el desempleo al empleo:

$$\begin{aligned} s &= \lambda + (1 - \lambda)G(\Psi) \\ f &= p(\theta)(1 - G(\Psi)) \end{aligned} \tag{F.1}$$

Esto, implica que en estado estacionario los flujos desde y hacia el desempleo quedan descritos por:

$$\begin{aligned} u &= (1 - f)u + se \\ e &= (1 - s)e + fu \end{aligned}$$

La ecuación del flujo del desempleo da lugar a la conocida “curva de Beveridge”: $u = \frac{s}{s + f}$.