

EFFECTO DE LA AUTOMATIZACION EN EL MERCADO LABORAL: EL CASO CHILENO

AUTOMATION EFFECT ON LABOR MARKET: CHILEAN CASE

ANDRES IGNACIO ARRIAGADA CARVAJAL *

Economista y Magíster en Economía de la Universidad Alberto Hurtado

Resumen

Este estudio muestra cómo varían salarios y empleabilidad según nivel educativo en Chile entre sectores laborales a causa de la automatización. Para esto se construye un modelo DMP de búsqueda laboral introduciendo el capital automatizado. Se encuentra que el efecto de la automatización está estrechamente ligado a la tasa de destrucción de empleo y la proporción de tareas de baja educación en el sector. Además, ante un aumento general de capital automatizado no existen cambios en el mercado laboral, existiendo solamente al aumentar en un nivel educativo. Calibrando con data para Chile, al aumentar en 50% el capital automatizado en un nivel educativo bajo, el desempleo en tal nivel aumenta 1,31% y en el otro 2,65%. Asimismo, al aumentar el capital automatizado en un nivel educativo alto, el desempleo en tal nivel cae 1,97% y en el otro 1,72%.

Palabras clave: *Automatización, búsqueda laboral, capital humano, nivel educativo, polarización salarial.*

Clasificación JEL: *C78, J21, J23, J24, J31, J63, J64, O33.*

* E-mail: andres.arriagada.ca@gmail.com

Abstract

This article shows how wages and employability varies according to the educational levels for Chile among labor industries due automation. For this, a DMP search-and-matching model is built introducing automation capital. It is found that the effect of automation is strongly linked to job destruction rate and low task ratio. When automation increases on all educational levels and labor industries, no effect is found on the labor market, existing only when automation increases on a specific educational level. Calibrating to Chilean Data, it is found that increasing in 50% the robotic capital on low educational levels leads to an 1.31% rise on low educational unemployment and 2.65% on the other level. In the other hand, increasing in 50% the robotic capital on high educational levels leads to an 1.95% fall on high educational unemployment and 1.72% on the other level.

Keywords: *Automation, job search, human capital, education level.*

JEL Classification: *C78, J21, J23, J24, J31, J63, J64, O33.*

1. INTRODUCCION

Históricamente ha existido una preocupación respecto del impacto de las nuevas tecnologías respecto de los empleos, ya que estas comienzan a realizar tareas que previamente realizaban humanos. A comienzos de la revolución industrial Mortimer (1772) sostuvo: “[Las máquinas] excluyen el trabajo de miles de la raza humana, quienes están empleados de manera útil” (p. 104), provocando que a inicios de los 1800 comenzara el movimiento “Luddite”, donde artesanos textiles buscaban destruir las recientes máquinas en protesta contra la automatización. Un siglo después, Keynes (1930) señaló que la automatización en sí no es un problema; sino que el problema ocurre cuando la tecnología avanza más rápido que la absorción de trabajo. Años después Bowen (1966), presidente del comité de Estados Unidos para enfrentar la baja productividad en aquel entonces, concluyó que la tecnología es un importante determinante del desempleo; sin embargo, la demanda de bienes y servicios es por lejos más importante.

Actualmente, ha vuelto la ansiedad acerca de las nuevas tecnologías debido a que pareciera no existir un techo para el progreso tecnológico, por ejemplo, Mokyr, Vickers, y Ziebarth (2015) señalan que la misma tecnología genera problemas que necesitan ser resueltos (por ejemplo, las bacterias, que cada vez son más resistentes a los antibióticos), y también indica que la competencia entre empresas y entre países estimulan el progreso tecnológico. Además, David H. (2015) advierte: “La aparición de unas gran mejoradas potencias computacionales, inteligencia artificial y robótica

incrementan la posibilidad de reemplazar el trabajo en una escala no observada previamente” (p. 4), esto ya que actualmente no solo se reemplaza el trabajo físico del humano, ahora va en aumento el reemplazo de su trabajo mental. Pratt (2015) lo atribuye en gran parte a cuatro tecnologías: Inteligencia Artificial, *Machine Learning*, *Deep Learning*, y *Cloud Robotics*, con las que los robots pueden razonar, escuchar, ver, entablar conversaciones, y aprender mediante razonamiento inductivo a base de sus propias experiencias y la de otros robots en la red. No solo eso, Pratt (2015) indica que las herramientas necesarias para la tecnología han mejorado exponencialmente, implicando mejoras en calidad, precisión y sofisticación de los diseños (por ejemplo, impresión 3D), en eficiencia del uso electrónico (menos costoso, en parte por la inclusión LED) y de poder computacional (ayudando a potenciar el *multitasking*), así como el crecimiento exponencial de Internet, almacenamiento de datos, y la disponibilidad y rendimiento de comunicación *wireless*.

¿Quiénes se verán más afectados por este inminente progreso tecnológico? David H. (2015) categoriza dos conjuntos de tareas difíciles de computarizar: i) tareas abstractas, que requieren la intuición, creatividad y persuasión para resolver problemas; comunes en ocupaciones profesionales, técnicas y de administración (alto nivel educativo y analítico, razonamiento inductivo, habilidades comunicacionales y maestrías), y ii) tareas manuales que requieren adaptabilidad, reconocimiento de lenguaje y visual, interacción personal; comunes en entrega de servicios (necesitan adaptarse y comunicarse fluidamente, no es necesario un nivel de educación, pero sí cierta especialización). Además, Brynjolfsson y McAfee (2014) mencionan que el progreso tecnológico no solo podría destruir algunos empleos, también podría complementarse con otros, usando esta tecnología para capturar y crear valor, por lo que no solo no habrán perjudicados, sino, beneficiados. Para saber cuánto se beneficiaría un tipo de trabajo, David H. (2015) menciona que los trabajos poseen un conjunto de tareas, y dependiendo de la complementariedad o sustitución de estas, se observará el grado de automatización que poseen. En esa misma línea, las tareas que se complementan incrementan el valor económico de las tareas restantes¹.

A corto plazo, esto evidentemente llevaría a fricciones en el mercado laboral, así como una polarización de salarios tal como señalan Acemoglu y Restrepo (2018a) y David H. (2015), quienes abordan en detalle que los empleos con más tareas abstractas (asociados comúnmente con trabajadores con mayor educación) aumentarían su salario, mientras que los salarios de los empleos con tareas manuales van a acortar la brecha entre ellos y los de mediana educación. No obstante, David H. (2015) indica que hay que analizar tres elementos para ver la dinámica de los salarios: complementariedad, elasticidad de la demanda y oferta de trabajo. En los trabajos abstractos la *expertise* va evolucionando constantemente, complementándose con la tecnología de la información

¹ La función de producción “O-ring” de Kremer (1993) captura esto, si falla/mejora una tarea en la cadena de producción, toda la producción falla/mejora.

y computarización (debido a que esta les reduce el costo de obtener información y análisis, permitiéndoles especializarse más), en cuanto a la elasticidad de la demanda, si esta fuera inelástica, la ganancia en productividad se traduce en aumento de salario; y respecto de la oferta, existe una barrera de entrada, ya que se necesitan entre 5 y 10 años de educación, por tanto, los trabajos con más tareas abstractas se ven beneficiados de la automatización. Además, las tareas manuales no se complementan, la demanda es relativamente precio inelástica como indican Baumol (1967) y David y Dorn (2013), y es relativamente ingreso elástica, mientras que la oferta es elástica permitiendo la entrada de nuevos oferentes, por tanto, no es fácil asegurar una caída o aumento de salario debido a la automatización, ya que se verá afectada por los movimientos de los desplazados en el mercado laboral.

Por otra parte, aunque el debate acerca del efecto a largo plazo de las tecnologías en el mercado laboral aún no está claro (Acemoglu y Restrepo, 2018b; Leduc y Liu, 2020), el panorama es algo optimista, Pratt (2015) argumenta que aumentará la producción y generará desplazamiento entre los sectores laborales, provocando una caída general en los precios, por lo que se satisface la demanda moviéndose a nuevas áreas donde pueden adquirir nuevos bienes y servicios. David (2015) sustenta lo anterior señalando: “La automatización en efecto sustituye el trabajo. Sin embargo [...] incrementa la producción de un modo que aumenta la demanda de trabajo e interactúa ajustando la oferta laboral” (p. 5), Sachs, Benzell, y LaGarda (2015) también sostienen que esto ocurriría en el largo plazo, mientras que a corto plazo se reduciría el consumo.

Como se puede observar, esta preocupación es histórica, con la diferencia que ahora el avance tecnológico es cada vez más acelerado, por lo que los beneficios y problemas que traerá la automatización de los trabajos impactarán más profundamente. Además, es oportuno destacar que durante muchos años se ha observado la gran desigualdad en la distribución de los salarios en Chile, siendo de los países de la OCDE peores evaluados en este tema, donde a 2015 la mitad de los trabajadores recibía un salario inferior a la línea de la pobreza de un hogar de tamaño promedio (PNUD, 2017), ahora, bajo un contexto de pandemia y postestallido social este problema se ha hecho mayor. Por tanto, se hace sumamente relevante analizar cómo la automatización afecta el mercado laboral a nivel salarial y de empleabilidad, para así plantear cómo maximizar los beneficios que traerá para la sociedad considerando los problemas que conlleva.

2. LITERATURA RELACIONADA

Existen distintos enfoques para modelar el efecto de la automatización en el mercado laboral, Prettner (2019) y Steigum (2011) consideran los procesos automatizados como un factor de producción, el que es perfecto sustituto del trabajo y acumulable como el capital físico. Bajo esta definición, los autores introducen los procesos automatizados como parte de un modelo neoclásico de crecimiento a la Solow (1956), Cass (1965) y

Koopmans (1965), encontrando que la automatización es capaz de llevar a la economía a un estado estacionario.

Acemoglu y Restrepo (2018b) usando los mismos datos que Lin (2011), encuentran que tanto la economía como la creación de nuevas tareas y empleos han ido al alza. Por ello, construyen un modelo donde hay tareas que son automatizadas sustituyendo trabajo, mientras que surgen nuevas tareas automatizadas que se complementan con el trabajo. Mientras que las tareas automatizadas que sustituyen trabajo reducen el empleo y los salarios, las nuevas tareas que se complementan con el trabajo aumentan el empleo y los salarios. Esto aumentaría la brecha salarial entre los distintos empleos.

Leduc y Liu (2020) construyen un modelo de equilibrio general estocástico dinámico (DSGE), incorporando fricciones en el mercado laboral a la Diamond-Mortensen-Pissarides (DMP), la decisión de las firmas de invertir o no en procesos automatizados y dejando a los trabajadores solo la opción de buscar empleos no automatizables. Bajo esta configuración, ellos concluyen que esto otorga a las firmas un mayor poder de negociación, incentivando la entrada de nuevas firmas, con ello disminuye el desempleo y aumenta la producción, a costas de un menor crecimiento de los salarios. Más aún, consideran que la automatización explica la volatilidad de los empleos.

Bajo la misma línea, pero para el caso de Chile, Rivera (2019) desarrolla un modelo DSGE, donde se importa el capital robótico. Se analizan efectos de la automatización en el equilibrio general mediante una caída de precios en el capital robótico, encontrando una caída en el empleo, los salarios y la producción.

Asimismo, Almeida, Fernandes, y Viollaz (2017) estudian el impacto de la adopción de *softwares* complejos en Chile (que son usados en su mayoría por trabajadores de alta educación) en la reasignación laboral dentro de la firma. Encuentran que posterior a la adopción, las firmas aumentan el uso de tareas de baja educación, mientras que reducen las de alta educación, reasignando trabajadores de alta educación a tareas de baja educación. Encuentran además que el efecto es mayor en sectores de baja educación.

Finalmente, Arriagada (2019), usando el trabajo realizado por Frey y Osborne (2017) y los datos de la encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) 2017, empareja la probabilidad promedio de automatización (PPA) antes del 2033 para los empleos en Chile acorde con los empleos estadounidenses. Arriagada (2019) encuentra que la PPA para Chile es de 61,56% y que 84,55% de su población está en riesgo alto de ser automatizado, mientras que en Estados Unidos esta última cifra es 47% y encendió las alarmas.

Además, Arriagada (2019) muestra las variaciones en la PPA según variables socioeconómicas, encontrando que los trabajadores que asistieron a la educación superior sin necesariamente completarla tienen en promedio una PPA 20,5% menor, independiente del área de estudio, aunque la institución es relevante, aquellos que estudiaron en Universidades tanto privadas como estatales presentan PPA mucho menores.

Como se puede apreciar, existe un extenso debate respecto del efecto de la automatización en el mercado laboral. El presente trabajo es una extensión del trabajo realizado por Cords y Prettner (2019) utilizando las PPA del trabajo de Arriagada (2019). Cords y Prettner (2019) parten mediante el modelo DMP de búsqueda laboral donde los trabajadores pueden tener un nivel alto o bajo de educación, y solo pueden buscar empleos de su nivel educativo, mientras que la función de producción es Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala entre el capital físico y bienes intermedios. Estos últimos son producidos mediante una función de producción CES (elasticidad constante de sustitución) a partir de tareas asociadas a trabajadores de alta y baja educación, donde el capital robótico es un perfecto sustituto de trabajadores de baja educación y sustituto imperfecto de trabajadores de alta educación. Cords y Prettner (2019) encuentran que la acumulación de capital robótico disminuye el *tightness* (número de vacantes por desempleados) en el mercado laboral de empleados con bajo nivel educativo, mientras que aumenta el *tightness* en el mercado laboral de empleados con alto nivel educativo, y en términos generales encuentran que se crean más empleos asociados a trabajadores de nivel educativo alto de los empleos destruidos asociados a trabajadores de nivel educativo bajo.

La extensión de este trabajo a lo aportado por Cords y Prettner (2019) es observar cómo afecta la automatización según la PPA de cada empleo para el mercado laboral chileno, desagregando también por sectores laborales. La PPA determinará el grado de sustitución entre el capital robótico y los trabajadores, por tanto, ya no se limita el grado de sustitución solo al nivel educativo.

3. EL MODELO

Siguiendo el trabajo de Cords y Prettner (2019), se construye un modelo DMP de búsqueda laboral, pero multisectorial, en específico de cinco sectores laborales. La función de producción sigue siendo Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala entre capital físico e insumos compuestos, siendo estos últimos producidos mediante una CES a partir de bienes intermedios producidos por tareas asociadas a trabajadores de alta y baja educación, solo que ahora a diferencia de Cords y Prettner (2019) el capital robótico es sustituto perfecto de trabajadores de baja o alta educación, donde la probabilidad de automatización de las tareas determina el grado de sustitución.

Los trabajadores solo pueden buscar empleos de su nivel educativo, esto tiene base en lo planteado por David (2015) de que la oferta de empleados de alta educación es inelástica debido a los años necesarios para pertenecer allí.

3.1. Decisión capital humano

Los trabajadores antes de entrar al mercado laboral deben decidir por una sola vez si invierten en capital humano, es decir, deciden su nivel educativo. En particular,

los trabajadores pueden decidir mantener un nivel educativo bajo y ser un trabajador L o pagar un costo κ (monetario, de oportunidad, dificultad...) proveniente de una distribución $F(\kappa)$, para transformarse en un trabajador de nivel educativo alto H . Basado en Arriagada (2019), se observa que en Chile la proporción de trabajadores de alta educación es cercana al 40%, por tanto, asumiremos que la distribución $F(\kappa)$ posee una asimetría negativa –la mayoría enfrenta un costo κ alto–. Una vez deciden su nivel educativo j , entran al mercado laboral de tal nivel, por tanto, la ecuación de decisión es:

$$T^j = \max \left\{ \underbrace{U^h - \kappa}_{T^h}, \underbrace{U^l}_{T^l} \right\} \quad (1)$$

Los trabajadores cuando deciden su nivel educativo deberán buscar empleo, por tanto, entrarán al mercado como desempleados, por ello, consideran el valor presente de estar desempleado U^j en el nivel educativo j (más adelante se abordará). De esta ecuación (1) se puede obtener el costo de reserva κ^* para el cual el trabajador está indiferente entre ambos niveles educativos, es decir, donde la función valor de estar empleado es igual en ambos niveles educativos: $T^h = T^l$.

$$\kappa^* = U^h - U^l \quad (2)$$

Lo anterior implica que se educarán y serán trabajadores de alta educación H aquellos individuos que enfrenten un costo de educarse menor o igual a κ^* , es decir, si $\kappa \leq \kappa^*$. Con lo anterior, se obtiene la proporción de cada tipo de trabajador en la población, o lo que es igual a la probabilidad de educarse.

$$Pr(h) = F(\kappa^*) \quad (3)$$

$$Pr(l) = 1 - F(\kappa^*) \quad (4)$$

Nuevamente, basados en Arriagada (2019) tenemos que para el caso de Chile $Pr(h) \approx 0,4226$ y $Pr(l) \approx 0,5774$.

3.2. Búsqueda de empleo

Los individuos buscarán empleos en los cinco sectores laborales de la economía (representados por i), donde se encontrarán los trabajadores con las firmas. Estos encuentros se les denominará *matches* y se denotarán por m . Los *matches* se generan

a partir de una función $m(u_j, v_{ij})$ que depende de la cantidad de trabajadores con nivel educativo j desempleados (u_j), y las vacantes puestas en cada sector laboral i para ese nivel educativo j (v_{ij}). Esta función de *matching* tiene rendimientos constantes a escala, además es creciente y cóncava en u_j y v_{ij} . Cada sector laboral i tiene una función de *matching* distinta, la cual depende de la proporción ϕ_{ij} de vacantes que aporta a las vacantes totales para los tipos de trabajadores j , es decir

$m(u_j, v_{ij}) = m\left(u_j, \frac{v_{ij}}{v_j} v_j\right) = m(u_j, \phi_{ij} v_j)$, por lo que un trabajador con nivel educativo j tiene una probabilidad $\varepsilon_{ij} = \frac{m(u_j, \phi_{ij} v_j)}{u_j} = m(1, \phi_{ij} \theta_j) = m(\phi_{ij}, \theta_j)$ de encontrar empleo en ese sector laboral i .

La función valor de estar desempleado para un trabajador j es:

$$rU_j = z_j + \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{ij} (E_{ij} - U_j) \quad (5)$$

Es decir, el valor presente de un trabajador j que está desempleado se compone por el seguro de cesantía z_j que recibe mientras no encuentre un empleo, más los probables ingresos que recibiría si encuentra empleo en algún sector, es decir, el valor esperado del beneficio o pérdida de estar empleado $\varepsilon_{ij} (E_{ij} - U_j)$.

Asimismo, la función valor de estar empleado en el sector i para un trabajador j es:

$$rE_{ij} = w_{ij} + s_{ij} (U_j - E_{ij}) \quad (6)$$

Es decir, el valor presente de un trabajador j que está empleado en el sector i se compone por el salario w_{ij} que recibe mientras sea empleado, más los probables ingresos que recibiría si pierde el empleo, es decir, el valor esperado del beneficio o pérdida de estar desempleado $s_{ij} (U_j - E_{ij})$ donde s_{ij} es la probabilidad exógena de que el trabajo se destruya.

3.3. Producción y productividad

La economía produce un bien final Y , cinco bienes intermedios λ_i producidos por tareas asociadas a trabajadores de baja educación, y cinco bienes intermedios η_i producidos por tareas asociadas a trabajadores de alta educación. El bien final Y es producido a partir de un proceso tecnológico neutral A –aumentador de todos los factores–, utilizando capital físico K y cinco insumos compuestos χ_i . Estos insumos compuestos son producidos por cada sector laboral en una proporción γ_i por bienes intermedios λ_i y el resto por bienes intermedios η_i . La siguiente ecuación (7) muestra la función de producción de bienes finales Y .

$$Y = AK^\alpha \left\{ \sum_{i=1}^5 \underbrace{[\gamma_i \lambda_i^\sigma + (1-\gamma_i) \eta_i^\sigma]}_{\chi_i} \right\}^{\frac{1}{\sigma}} \Bigg\}^{1-\alpha} \quad (7)$$

La participación del capital físico en la producción es denotada por α , mientras que σ representa la elasticidad sustitución de los bienes intermedios dentro de un sector laboral. Considerando lo expuesto por Autor, Katz, y Krueger (1998) se asume que $\alpha = \sigma = \frac{1}{3}$, por lo que los bienes intermedios λ_i y η_i son bienes sustitutos brutos –un aumento en el precio de un bien provoca un aumento en la demanda del otro– dentro de un sector laboral, coincidiendo con Cords y Prettner (2019), Acemoglu (2009) y Autor D. (2002).

Los empleos e_{ij} del sector laboral i tienen una probabilidad promedio de automatización q_{ij} , por tanto, se puede inferir que una proporción q_{ij} de las tareas de alta/baja educación pueden ser realizadas por procesos automatizados P_i , con lo que, los bienes intermedios quedan compuestos de la siguiente manera:

$$\lambda_i = q_{il} P_i + (1 - q_{il}) e_{il} \quad (8)$$

$$\eta_i = q_{ih} P_i + (1 - q_{ih}) e_{ih} \quad (9)$$

En cuanto a las productividades marginales de los factores, al igual que Cords y Prettner (2019), se asumirá que no existe arbitraje entre el capital físico y los procesos automatizados, cumpliéndose la condición de optimalidad, donde cada factor tiene una productividad igual a su precio, es decir, igual a la tasa de arriendo más su depreciación:

$$p_k = r + \delta \quad (10)$$

$$p_p = p_k \quad (11)$$

Con lo anterior, las productividades de los factores e_{il} y e_{ih} según el sector laboral quedan de la siguiente manera (para mayor detalle, revisar la sección Apéndice Matemático).

$$K = \left(\frac{\alpha A}{r + \delta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left\{ \sum_{i=1}^5 [\gamma_i \lambda_i^\sigma + (1-\gamma_i) \eta_i^\sigma] \right\}^{\frac{1}{\sigma}} \quad (12)$$

$$p_{il} = (1-\alpha) \gamma_i (1-q_{il}) A^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{\alpha}{r+\delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left[\gamma_i + (1-\gamma_i) \left(\frac{\eta_i}{\lambda_i} \right)^\sigma \right]^{\frac{1-\sigma}{\sigma}} \quad i = 1, \dots, 5 \quad (13)$$

$$p_{ih} = (1-\alpha)(1-\gamma_i)(1-q_{ih})A^{\frac{1}{1-\alpha}}\left(\frac{\alpha}{r+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}\left[\gamma_i\left(\frac{\lambda_i}{\eta_i}\right)^\sigma + (1-\gamma_i)\right]^{\frac{1-\sigma}{\sigma}} \quad i = 1, \dots, 5 \quad (14)$$

Se logra apreciar que al aumentar la demanda de bienes intermedios λ_i o η_i , aumenta la demanda de capital físico. En cuanto a los factores laborales, un aumento en la demanda de bienes intermedios λ_i incrementa la demanda de trabajadores e_{il} disminuyendo su productividad p_{il} , mientras que provoca un aumento en la productividad de p_{ih} . Análogamente, un aumento en la demanda de bienes intermedios η_i incrementa la demanda de trabajadores e_{ih} disminuyendo su productividad p_{ih} , mientras que provoca un aumento en la productividad de p_{il} .

Lo anterior implica que al igual que los bienes intermedios, los factores laborales e_{il} y e_{ih} son factores sustitutos brutos.

En cuanto a la robotización, se observa que, a mayor probabilidad de automatización, menor es el impacto de una variación en la demanda de bienes intermedios respecto de las productividades laborales.

3.4. Búsqueda de trabajadores

Las firmas entran a un mercado i , necesitando un trabajador de tipo j . Para entrar al mercado, ponen una vacante con un costo h_{ij} y con una probabilidad

$\alpha_{ij} = \frac{m(u_j, v_{ij})}{v_{ij}} = m\left(\frac{1}{\phi_{ij}\theta_j}, 1\right) = \frac{1}{\phi_{ij}\theta_j} m(1, \phi_{ij}\theta_j) = \frac{m(\phi_{ij}\theta_j)}{\phi_{ij}\theta_j}$ consiguen un empleado tipo j . Por tanto, la función valor de la firma de abrir una vacante es:

$$rV_{ij} = -h_{ij} + \alpha_{ij}[F_{ij} - V_{ij}] \quad (15)$$

Es decir, el valor presente de una firma del sector laboral i de buscar un trabajador j se compone por el costo de abrir una vacante h_{ij} (afectando negativamente) que debe costear mientras busque un empleado, más los probables ingresos que recibiría si contrata a un empleado, es decir, el valor esperado del beneficio o pérdida de contratar un empleado $\alpha_{ij}(F_{ij} - V_{ij})$ donde α_{ij} es la probabilidad de contratar a un empleado tipo j en el sector laboral i .

Una vez la firma encuentre un empleado, esta produce p_{ij} por cada trabajador tipo j en el sector laboral i , y debe pagar un salario w_{ij} al empleado. Además, con una probabilidad exógena s_{ij} puede terminarse el trabajo. Por tanto, la función valor de la firma de mantener un trabajo es:

$$rF_{ij} = (p_{ij} - w_{ij}) + s_{ij}[V_{ij} - F_{ij}] \quad (16)$$

Es decir, el valor presente de una firma del sector laboral i de mantener un trabajador j se compone por el beneficio $p_{ij} - w_{ij}$ que recibe mientras tenga un empleado, más los probables costos que pagaría si pierde al empleado, es decir, el valor esperado del beneficio o pérdida de mantener una vacante $s_{ij}(V_{ij} - F_{ij})$.

4. SOLUCION Y EQUILIBRIO DEL MODELO

4.1. Solución del modelo

Una vez se realice un *match* entre firma y trabajador, se procederá a negociar el salario de forma de repartir los excedentes

$$\max_{w_{ij}} \{E_{ij} - U_j\}^{\psi_j} \cdot \{F_{ij} - V_{ij}\}^{1-\psi_j} \quad (17)$$

Donde ψ_j denota el poder de negociación de los trabajadores con nivel educativo j . Las firmas del sector i del trabajo con nivel educativo j entrarán al mercado si y solo si su función valor no es negativa, es decir, a largo plazo $V_{ij} = 0$. Esto implica que:

$$F_{ij} = \frac{h_{ij}}{\alpha_{ij}} \quad (18)$$

$$F_{ij} = \frac{(p_{ij} - w_{ij})}{(r + s_{ij})} \quad (19)$$

Por tanto, a partir de las ecuaciones anteriores se determina el salario con el que se cumple la condición de largo plazo, es decir, el salario por el cual las firmas estarán indiferentes de entrar o no al mercado:

$$w_{ij} = p_{ij} - \frac{(r + s_{ij})h_{ij}}{\alpha_{ij}} \quad (20)$$

Se observa que a mayor productividad de los trabajadores p_{ij} , costo de mantener una vacante h_{ij} , tasa de interés r , o tasa de destrucción s_{ij} , menor es el incentivo que tienen las firmas de entrar al mercado. Solo cuando aumentan la probabilidad de encontrar un trabajador aumenta el incentivo de las firmas de entrar al mercado, ya que menor es la probabilidad de mantener una vacante durante el tiempo.

Por el lado de los trabajadores, se puede despejar la función valor de estar empleado, y , con ello, el excedente de estar empleado.

$$E_{ij} = \frac{w_{ij} + s_{ij}U_j}{(r + s_{ij})} \quad (21)$$

$$E_{ij} - U_j = \frac{w_{ij} - rU_j}{(r + s_{ij})} \quad (22)$$

Por lo que se desprende que a mayor salario w_{ij} o valor presente de estar desempleado U_j , mayor es el valor presente de estar empleado. Asimismo, a mayor tasa de interés r o tasa de destrucción s_{ij} , menor es el valor presente de estar empleado.

El salario no afecta el excedente, solo afecta como se reparte, por tanto, mediante equilibrio de Nash el salario es:

$$w_{ij} = \psi_j p_{ij} + (1 - \psi_j) rU_j \quad (23)$$

Se concluye que el salario del sector laboral i para un trabajador con nivel educativo j es un promedio ponderado entre: el precio del bien intermedio p_{ij} y el flujo recibido por estar desempleado rU_j .

Se puede apreciar que a mayor poder de negociación ψ_j que tengan los trabajadores del nivel educativo j mayor será el salario recibido para tales trabajadores independiente del sector laboral i en que se encuentren. Además, también aumenta el salario w_{ij} a mayor productividad p_{ij} , ya que le produce un mayor beneficio a la firma, al igual que al aumentar el valor presente de estar desempleado U_j aumentará el salario w_{ij} , ya que es el costo de oportunidad de trabajar.

Con las ecuaciones (20) y (22) podemos obtener cuál es el flujo recibido de un trabajador con nivel educativo j por estar desempleado:

$$rU_j = z_j + \psi_j \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{ij} \left(\frac{p_{ij} - rU_j}{r + s_{ij}} \right) \quad j = 1, 2 \quad (24)$$

Y a partir de (19) y (21) podemos encontrar la ecuación que determina el *tightness* de cada tipo de trabajador:

$$(\phi_{ij} \theta_j)^{\omega-1} = \frac{(r + s_{ij}) h_{ij}}{(1 - \psi_j)(p_{ij} - rU_j)} \quad i = 1, \dots, 5 \quad j = 1, 2 \quad (25)$$

Finalmente, las condiciones de estado estacionario para el desempleo de empleados j son:

$$u_l m(\phi_{il}, \theta_l) = s_{il} e_{il} \quad i = 1, \dots, 5 \quad (26)$$

$$u_h m(\phi_{ih}, \theta_h) = s_{ih} e_{ih} \quad i = 1, \dots, 5 \quad (27)$$

$$\sum_{i=1}^5 e_{il} + u_L = 1 \quad (28)$$

$$\sum_{i=1}^5 e_{ih} + u_H = 1 \quad (29)$$

$$\sum_{i=1}^5 \phi_{ij} = 1 \quad j = 1, 2 \quad (30)$$

Esto es, a largo plazo los empleos que se crean en la economía deben ser igual a los empleos que se destruyen. Así también, todos los trabajadores se encuentran empleados o desempleados, y los empleados trabajan en alguno de los cinco sectores laborales de la economía.

4.2. Algoritmo de solución del modelo

Con las ecuaciones (24) a (30) se completa el modelo, siendo el algoritmo de solución de este el siguiente:

1. Se conjetura p_{ih} y p_{il} para $i = 1 \dots 5$.
2. Dados p_{ih} y p_{il} , se resuelve el sistema de ecuaciones (24) a (30), encontrándose $U_j, \theta_j, \phi_{ij}, u_j, e_{ij}$ para $i = 1 \dots 5$ y $j = h, l$.
3. Dados e_{ij} con $i = 1 \dots 5$ y $j = l, h$, se resuelve el sistema de ecuaciones (12) a (14), encontrándose K, p_{ih}, p_{ij} para $i = 1 \dots 5$.
4. Si p_{il} y p_{ih} para $i = 1 \dots 5$ encontrados en el paso 3 son iguales a los conjeturados en el paso 1, entonces se encontró la solución. En caso contrario, se utilizan las productividades del paso 3 para resolver nuevamente el paso 2.

4.3. Equilibrio del modelo

El equilibrio de mercado laboral multisectorial con trabajadores de alta y baja educación es alcanzado con las variables endógenas $\left\{ \left(K, e_{ij}, p_{ij}, p_p, p_K, rU_j, \theta_j, \phi_{ij}, u_j \right)_{i=1}^5 \right\}_{j=1}^2$

que resuelven el sistema de ecuaciones (12) a (14), y (24) a (30), sujeto a los parámetros $\left\{ \left(\alpha, A, r, \delta, \gamma_i, \sigma, q_{ij}, z_j, \psi_j, \omega, s_{ij}, h_{ij} \right)_{i=1}^5 \right\}_{j=1}^2$.

Esto es, los parámetros mencionados anteriormente caracterizan a la economía, donde a largo plazo se alcanzan unas productividades p_{ij} tal que el nivel de empleo e_{ij} y desempleo u_j se encuentran en estado estacionario (y con ello U_j , θ_j , y ϕ_{ij}).

5. PARAMETRIZACION Y CALIBRACION DEL MODELO

La categorización más general de los empleos que registra la encuesta CASEN de Observatorio Social (2017) contiene 9 categorizaciones. Debido a que el presente estudio busca analizar el efecto de la automatización en el mercado laboral, a partir de estas 9 categorizaciones se agrupan aquellas que mantienen un nivel de probabilidad promedio de automatización cercana (menos de 6% de diferencia). Así, el siguiente Cuadro 1 muestra los cinco sectores laborales:

CUADRO 1
SECTORES LABORALES

Sector	Categorización	Categorización	PPA
1	Profesionales, científicos e intelectuales	–	0,153
2	Poder Ejecutivo	Agricultores o calificados	0,248 y 0,319
3	Técnicos nivel medio	Trabajadores de servicios o vendedores	0,595 y 0,645
4	Oficiales, operarios	Artesanos, y trabajadores no calificados	0,682 y 0,755
5	Empleados de oficina	Operadores de instalaciones y máquinas	0,87 y 0,887

Elaboración propia.

En cuanto a la definición de trabajador de nivel educativo alto o bajo, se considera que aquellos trabajadores que tienen más de 12 años de escolaridad son trabajadores de nivel educativo alto, ya que hasta los 21 años de edad la escolaridad obligatoria en Chile son 12 años, esto es, 8 años de educación básica y 4 años de educación media (Ley N° 10876 de Chile 2003).

5.1. Parametrización base

Como se mencionó en la sección anterior, el modelo tiene 45 parámetros, el Cuadro 2 muestra los 8 parámetros bases que son tomados directamente desde el trabajo de Cords y Prettner (2019).

CUADRO 2

PARAMETROS BASE TOMADOS DE LA LITERATURA

Parámetro	Descripción	Valor	Fuente
α	Elasticidad capital sobre la producción	$\frac{1}{3}$	(Grossmann, Steger, y Trimborn, 2013)
A	Factor total de productividad	1	Normalizado
P	Capital automatizado	7,6	(Dauth, Findeisen, Sudekum, y Woessner, 2017)
r	Tasa de interés real	0,05	(Chassamboulli y Palivos, 2014)
δ	Tasa de depreciación del capital	0,05	(Prettner, 2019)
σ	Elasticidad de sustitución	$\frac{1}{3}$	(Autor, Katz, y Krueger, 1998)
ψ	Poder de negociación de trabajadores	0,5	(Petrongolo y Pissarides, 2001)
ω	Elasticidad del <i>matching</i>	0,5	(Hosios, 1990)

El poder de negociación de los trabajadores ψ es obtenido desde el trabajo de Petrongolo y Pissarides (2001), siendo fijado en 0,5, luego, siguiendo la condición de Hosios (1990) donde la elasticidad del *matching* ω iguala al poder de negociación de los trabajadores $\psi = 0,5$, lo que está dentro del intervalo que establece Petrongolo y Pissarides (2001). La elasticidad capital sobre la producción α es la usual, siendo fijada en $\frac{1}{3}$, luego bajo el trabajo de Autor, Katz y Krueger (1998) es fijada la elasticidad de sustitución entre las tareas de alta y baja educación $\sigma = \frac{1}{3}$, coincidiendo con el α de Grossman, Steger y Trimborn (2013). El proceso tecnológico A es normalizado a 1, mientras que la tasa de interés real r es aproximada a 0,05 a partir de Chassamboulli y Palivos (2014), al igual que la tasa de depreciación del capital δ es aproximada a 0,05 a partir de Prettner (2019), de esta forma ambas tasas se igualan cumpliendo la condición de estado estacionario de Solow (1956). Finalmente, el capital automatizado P se toma directo desde el trabajo de Cords y Prettner (2019), quienes lo recogen de Dauth, Findeisen, Sudekum, y Woessner (2017).

El Cuadro 3: Probabilidad Promedio de Automatización según sector y nivel educativo muestra la Probabilidad Promedio de Automatización (PPA) según sector y nivel educativo, esto fue elaborado a partir de la PPA de los empleos chilenos por el trabajo de Arriagada (2019) y la encuesta CASEN de Observatorio Social (2017). Se puede observar que mientras el sector tenga menos PPA, la diferencia de PPA entre empleos de baja y alta educación es mayor, siendo aproximadamente 6 puntos porcentuales en el primer sector, mientras que en el sector 5, el de más PPA, la diferencia entre empleos de baja y alta educación es casi nula.

CUADRO 3

PROBABILIDAD PROMEDIO DE AUTOMATIZACION
SEGUN SECTOR Y NIVEL EDUCATIVO

Parámetro	Descripción	Valor	Fuente
q_{11}	PPA trabajadores baja educ. en sector 1	0,215	Elaboración propia
q_{21}	PPA trabajadores baja educ. en sector 2	0,291	Elaboración propia
q_{31}	PPA trabajadores baja educ. en sector 3	0,639	Elaboración propia
q_{41}	PPA trabajadores baja educ. en sector 4	0,724	Elaboración propia
q_{51}	PPA trabajadores baja educ. en sector 5	0,879	Elaboración propia
q_{12}	PPA trabajadores alta educ. en sector 1	0,152	Elaboración propia
q_{22}	PPA trabajadores alta educ. en sector 2	0,249	Elaboración propia
q_{32}	PPA trabajadores alta educ. en sector 3	0,608	Elaboración propia
q_{42}	PPA trabajadores alta educ. en sector 4	0,693	Elaboración propia
q_{52}	PPA trabajadores alta educ. en sector 5	0,878	Elaboración propia

CUADRO 4

PROPORCION TAREAS DE BAJA EDUCACION SEGUN SECTOR

Parámetro	Descripción	Valor	Fuente
γ_1	PTB en sector 1	0,0205	Elaboración propia
γ_2	PTB en sector 2	0,7384	Elaboración propia
γ_3	PTB en sector 3	0,5447	Elaboración propia
γ_4	PTB en sector 4	0,871	Elaboración propia
γ_5	PTB en sector 5	0,2585	Elaboración propia

Finalmente, el Cuadro 4: Proporción tareas de baja educación según sector muestra la Proporción de tareas de baja educación según sector, esto fue elaborado directamente desde la encuesta CASEN de Observatorio Social (2017), tomando la proporción de empleados de baja educación que hay en cada sector. No se aprecia una tendencia clara según PPA; no obstante, el sector 1, el que posee menor PPA, presenta una muy baja proporción de tareas bajas, mientras que los demás sectores (a excepción del quinto) poseen más del 50% de tareas bajas.

5.2. Valores objetivos y calibración

Los Cuadro 5: Distribución de trabajadores baja educación en mercado laboral y Cuadro 6: Distribución de trabajadores alta educación en mercado laboral muestran los valores objetivos elaborados directamente desde la encuesta CASEN de Observatorio Social (2017) de las variables en el empleo y desempleo para nivel educativo bajo y alto, respectivamente, para que el modelo sea consistente con la data chilena.

CUADRO 5

DISTRIBUCION DE TRABAJADORES BAJA EDUCACION EN MERCADO LABORAL

Variable	Descripción	Valor	Fuente
e_{11}	Proporción de trabajadores baja educ. en el sector 1	0,003	Elaboración propia
e_{21}	Proporción de trabajadores baja educ. en el sector 2	0,101	Elaboración propia
e_{31}	Proporción de trabajadores baja educ. en el sector 3	0,188	Elaboración propia
e_{41}	Proporción de trabajadores baja educ. en el sector 4	0,445	Elaboración propia
e_{51}	Proporción de trabajadores baja educ. en el sector 5	0,163	Elaboración propia
u_1	Proporción de trabajadores baja educ. desempleados	0,1	Elaboración propia

Desde el Cuadro 5: Distribución de trabajadores baja educación en mercado laboral se puede apreciar que los valores son los esperables, en aquellos sectores donde la PTB es baja, la proporción de trabajadores baja educación que trabajan allí es baja.

CUADRO 6

DISTRIBUCIÓN DE TRABAJADORES ALTA EDUCACION EN MERCADO LABORAL

Variable	Descripción	Valor	Fuente
e_{12}	Proporción de trabajadores alta educ. en el sector 1	0,288	Elaboración propia
e_{22}	Proporción de trabajadores alta educ. en el sector 2	0,067	Elaboración propia
e_{32}	Proporción de trabajadores alta educ. en el sector 3	0,297	Elaboración propia
e_{42}	Proporción de trabajadores alta educ. en el sector 4	0,123	Elaboración propia
e_{52}	Proporción de trabajadores alta educ. en el sector 5	0,107	Elaboración propia
u_2	Proporción de trabajadores alta educ. desempleados	0,118	Elaboración propia

A partir del Cuadro 6 vemos que la situación es algo similar, en el sector 1 (el de menor PTB) hay 28,8% de los trabajadores de alta educación, siendo el segundo más alto, seguido del sector 3 con 29,7%, lo que se podría explicar por las tasas de destrucción de empleo.

Finalmente, el Cuadro 7 muestra los parámetros calibrados.

Para la calibración, a partir de la encuesta CASEN de Observatorio Social (2017), se toma la tasa de destrucción de empleo como $s = \frac{1}{12*t}$ donde t son los años que llevan en el mismo empleo o años que estuvieron en el último empleo. Luego se promedia por sector laboral i y nivel educativo j , obteniendo resultados similares a los expuestos en el Cuadro 7. Estos fueron levemente modificados, de modo de obtener los valores objetivos de los Cuadros 5 y 6.

CUADRO 7

PARAMETROS CALIBRADOS

Variable	Descripción	Valor
Z_l	Flujo de ingreso para desempleados baja educ.	0,95
Z_h	Flujo de ingreso para desempleados alta educ.	1,05
h_l	Costo de mantener una vacante para un puesto baja educ.	60
h_h	Costo de mantener una vacante para un puesto alta educ.	100
s_{11}	TDD empleos baja educ. en sector 1	0,38
s_{21}	TDD empleos baja educ. en sector 2	0,011
s_{31}	TDD empleos baja educ. en sector 3	0,021
s_{41}	TDD empleos baja educ. en sector 4	0,009
s_{51}	TDD empleos baja educ. en sector 5	0,033
s_{12}	TDD empleos alta educ. en sector 1	0,012
s_{22}	TDD empleos alta educ. en sector 2	0,042
s_{32}	TDD empleos alta educ. en sector 3	0,015
s_{42}	TDD empleos alta educ. en sector 4	0,037
s_{52}	TDD empleos alta educ. en sector 5	0,037

A diferencia de Cords y Prettner (2019), el modelo presenta un costo mayor de mantener una vacante para un puesto de alta educación; esto se podría entender debido a que el proceso de selección es con más filtros y de mayor extensión, debido a como menciona David (2015), la menor oferta laboral dada la barrera de entrada que existe, la que se explicaría por el costo de educarse (monetario, de oportunidad, dificultad...).

6. RESULTADOS

A continuación se realizará un análisis descriptivo de los resultados encontrados. En el Anexo podrá encontrar los Cuadros 15 y 16 que muestran los resultados ante un aumento de capital robótico P_{ij} de forma condicionada, y el Cuadro 17 que muestra el efecto de la automatización para Chile. Luego, el Cuadro 18 muestra los resultados ante un aumento en la probabilidad de automatización q_{ij} .

6.1. Efecto de la automatización

Debido a que el efecto de la automatización no es lineal, dependiendo de la probabilidad de automatización promedio q_{ij} , la proporción de tareas bajas γ_i , y la tasa de destrucción del empleo s_{ij} , se observará cómo varía el empleo e_{ij} y el salario w_{ij} controlando por q_{ij} , γ_i , y s_{ij} , para así comprender el efecto de un incremento de capital robótico P_{ij} en el mercado laboral.

Los siguientes Cuadros 8 y 9 elaborados a partir de la tabla (a) y (b) del Cuadro 15, muestra el efecto de aumentar el capital robótico P_{ij} sobre el empleo y salario respectivamente, con una proporción de tareas bajas promedio $\bar{\gamma}_i = 0,49$ y un nivel de destrucción de empleo promedio (por nivel educativo) $\bar{s}_{il} = 0,09$ y $\bar{s}_{ih} = 0,03$.

CUADRO 8

VARIACION EMPLEO ANTE AUMENTO DE PROCESOS AUTOMATIZADOS P_{ij}
CON \bar{s}_{il} , \bar{s}_{ih} y $\bar{\gamma}_i$

(a) Aumento de P_{il}						(b) Aumento de P_{ih}					
Variable	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Variable	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	1,93%	3,50%	4,95%	6,40%	7,49%	e11	-2,05%	-3,86%	-5,80%	-7,49%	-9,18%
e21	1,74%	3,36%	4,75%	6,03%	7,18%	e21	-1,97%	-3,82%	-5,56%	-7,18%	-8,92%
e31	0,15%	0,23%	0,31%	0,38%	0,46%	e31	-0,08%	-0,23%	-0,38%	-0,54%	-0,69%
e41	-0,14%	-0,35%	-0,49%	-0,63%	-0,77%	e41	0,21%	0,35%	0,56%	0,70%	0,84%
e51	-0,67%	-1,22%	-1,70%	-2,19%	-2,55%	e51	0,67%	1,28%	1,95%	2,49%	3,10%
u1	-0,51%	-0,94%	-1,32%	-1,68%	-1,98%	u1	0,53%	1,04%	1,55%	2,03%	2,51%
e12	-3,62%	-6,49%	-8,60%	-20,21%	-20,97%	e12	4,07%	7,99%	11,61%	14,93%	18,10%
e22	-3,27%	-6,33%	-9,39%	-15,61%	-18,78%	e22	3,06%	5,70%	8,02%	10,02%	11,81%
e32	0,05%	0,05%	0,00%	0,80%	0,64%	e32	-0,11%	-0,27%	-0,37%	-0,53%	-0,64%
e42	0,48%	0,86%	1,19%	2,58%	2,77%	e42	-0,48%	-0,95%	-1,38%	-1,77%	-2,10%
e52	1,12%	2,17%	3,14%	5,34%	6,20%	e52	-1,12%	-2,09%	-2,98%	-3,80%	-4,49%
u2	0,82%	1,58%	2,24%	4,14%	4,74%	u2	-0,82%	-1,53%	-2,18%	-2,73%	-3,27%

Conjetura 1: Al aumentar P_{ij} aumenta(disminuye) e_{ij} (e_{ik}) en bajos q_{ij} , mientras que disminuye (aumenta) en altos q_{ij} . En general u_j (u_k) disminuye (aumenta). Es decir, **al aumentar el capital automatizado en cierto nivel, aumenta(disminuye) el empleo en ese(otro) nivel en bajas PPA y disminuye(aumenta) en altos PPA. Además, el desempleo general en ese(otro) nivel disminuye (aumenta).**

CUADRO 9

VARIACION SALARIOS ANTE AUMENTO DE PROCESOS AUTOMATIZADOS P_{ij}
CON \bar{s}_{il} , \bar{s}_{ih} , y $\bar{\gamma}_i$

(a) Aumento de P_{il}						(b) Aumento de P_{ih}					
Variable	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Variable	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
w11	-1,39%	-2,60%	-3,67%	-4,69%	-5,55%	w11	1,43%	2,80%	4,12%	5,37%	6,60%
w21	-1,39%	-2,62%	-3,71%	-4,71%	-5,59%	w21	1,45%	2,84%	4,16%	5,43%	6,66%
w31	-1,07%	-2,01%	-2,84%	-3,58%	-4,24%	w31	1,09%	2,16%	3,17%	4,13%	5,04%
w41	-0,95%	-1,78%	-2,51%	-3,18%	-3,78%	w41	0,99%	1,94%	2,84%	3,69%	4,52%
w51	-0,70%	-1,31%	-1,85%	-2,34%	-2,78%	w51	0,75%	1,42%	2,09%	2,70%	3,30%
w12	1,86%	3,63%	5,32%	7,12%	8,67%	w12	-1,77%	-3,32%	-4,69%	-5,93%	-7,04%

(a) Aumento de P_{ii}

Variable	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
w22	1,70%	3,33%	4,87%	6,47%	7,89%
w32	1,28%	2,51%	3,66%	4,90%	5,95%
w42	1,16%	2,27%	3,32%	4,45%	5,41%
w52	0,87%	1,68%	2,44%	3,31%	3,99%

(b) Aumento de P_{ih}

Variable	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
w22	-1,61%	-3,02%	-4,28%	-5,42%	-6,43%
w32	-1,22%	-2,31%	-3,28%	-4,13%	-4,93%
w42	-1,14%	-2,11%	-3,00%	-3,80%	-4,50%
w52	-0,81%	-1,55%	-2,23%	-2,81%	-3,36%

Conjetura 2: Al aumentar P_{ij} disminuye(aumenta) w_{ij} (w_{ik}), siendo mayor esta caída(subida) a menores q_{ij} . Es decir, **al aumentar el capital automatizado en cierto nivel, disminuye(aumenta) el salario en ese(otro) nivel, siendo mayor la caída(subida) a menor PPA.**

Nótese que existen casos donde solo hay beneficios o pérdidas. Por ejemplo, en los sectores de alta PPA q_{ij} hay consecuencias negativas para los trabajadores j al aumentar P_{ij} , ya que cae el salario w_{ij} y el empleo e_{ij} . Asimismo, en los sectores de alta PPA q_{ij} hay consecuencias positivas para los trabajadores k al aumentar P_{ij} , ya que aumenta el salario w_{ik} y el empleo e_{ik} .

6.2. Condicionadores del efecto de la automatización

Ahora, se observará el rol que tienen la tasa de destrucción del empleo s_{ij} y la proporción de tareas bajas γ_i en el efecto de la automatización. Los siguientes Cuadros 10 y 11 elaborados a partir de la tabla (a) y (b) del Cuadro 16 muestran el efecto de aumentar el capital robótico P_{ii} sobre el empleo y salario respectivamente, con una proporción de tareas bajas mínima $\min(\gamma_i) = 0,02$ y un nivel de destrucción de empleo mínimo (por nivel educativo) $\min(s_{ii}) = 0,01$, $\min(s_{ih}) = 0,01$, respectivamente.

CUADRO 10

VARIACION ANTE AUMENTO DE PROCESOS AUTOMATIZADOS P_{ii} CON $\overline{s_{ii}}, \overline{s_{ih}}$ y $\min(\gamma_i)$

(a) Efecto empleo

Variable	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	0,08%	0,15%	0,23%	0,23%	0,31%
e21	0,08%	0,15%	0,23%	0,23%	0,31%
e31	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
e41	0,00%	0,00%	0,00%	-0,08%	-0,08%
e51	-0,07%	-0,15%	-0,15%	-0,22%	-0,22%
u1	-0,03%	-0,06%	-0,09%	-0,09%	-0,12%
e12	0,35%	0,61%	0,87%	1,13%	1,39%
e22	0,42%	0,70%	0,97%	1,25%	1,39%
e32	-0,14%	-0,20%	-0,34%	-0,47%	-0,54%
e42	-0,11%	-0,16%	-0,26%	-0,32%	-0,42%
e52	-0,04%	-0,07%	-0,11%	-0,11%	-0,14%
u2	-0,05%	-0,10%	-0,16%	-0,21%	-0,26%

(b) Efecto salario

Variable	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
w11	-0,20%	-0,37%	-0,53%	-0,66%	-0,76%
w21	-0,20%	-0,37%	-0,53%	-0,66%	-0,76%
w31	-0,13%	-0,27%	-0,37%	-0,47%	-0,54%
w41	-0,13%	-0,24%	-0,30%	-0,40%	-0,47%
w51	-0,10%	-0,17%	-0,24%	-0,31%	-0,34%
w12	0,09%	0,19%	0,27%	0,35%	0,43%
w22	0,09%	0,18%	0,26%	0,33%	0,42%
w32	0,08%	0,14%	0,22%	0,29%	0,35%
w42	0,07%	0,14%	0,21%	0,26%	0,33%
w52	0,04%	0,11%	0,15%	0,19%	0,24%

Conjetura 3: A menor proporción de tareas bajas γ_i menor es el efecto de la automatización en el sector j , mientras que en el sector k menor es el efecto salario y se invierte el efecto empleo.

CUADRO 11

VARIACION ANTE AUMENTO DE PROCESOS AUTOMATIZADOS P_{il} CON $\min(s_{ij})$, $\min(s_{ih})$ Y $\bar{\gamma}_i$

(a) Efecto empleo						(b) Efecto salario					
Variable	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Variable	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	5,46%	10,25%	14,34%	17,90%	24,45%	w11	-1,81%	-3,39%	-4,78%	-6,00%	-7,16%
e21	5,33%	9,82%	13,82%	17,45%	22,79%	w21	-1,86%	-3,50%	-4,93%	-6,23%	-7,45%
e31	-0,28%	-0,55%	-0,78%	-1,01%	-1,61%	w31	-1,51%	-2,82%	-4,02%	-5,07%	-6,10%
e41	-0,83%	-1,57%	-2,20%	-2,79%	-3,77%	w41	-1,38%	-2,60%	-3,70%	-4,68%	-5,63%
e51	-1,55%	-2,88%	-4,06%	-5,08%	-6,57%	w51	-1,10%	-2,09%	-2,98%	-3,80%	-4,58%
u1	-1,02%	-2,04%	-2,85%	-3,67%	-4,68%	w12	1,98%	3,84%	5,61%	7,27%	8,90%
e12	-0,91%	0,55%	4,01%	8,94%	14,96%	w22	1,83%	3,56%	5,23%	6,83%	8,40%
e22	-5,30%	-10,37%	-15,09%	-19,35%	-23,39%	w32	1,38%	2,70%	3,96%	5,18%	6,33%
e32	-0,09%	-0,32%	-0,69%	-1,20%	-1,80%	w42	1,28%	2,48%	3,64%	4,74%	5,80%
e42	0,41%	0,61%	0,69%	0,65%	0,49%	w52	0,95%	1,87%	2,70%	3,54%	4,31%
e52	1,15%	2,13%	2,93%	3,56%	4,11%						
u2	0,74%	1,35%	1,85%	2,09%	2,34%						

Se logra apreciar en el sector de baja educación que el aumento en empleabilidad de los sectores con baja PPA son mayores, y las caídas en los sectores con alta PPA son mayores. En el sector de alta educación se observa una disminución en términos absolutos en la variación de la empleabilidad (excepto en el sector 1 debido a su baja PTB y lo mencionado en la Conjetura 3). En cuanto a los salarios, se ven caídas y subidas más fuertes.

Conjetura 4: A menor tasa de destrucción s_{ij} mayor es el efecto de la automatización en el sector j , mientras que en el sector k acelera el efecto salario, mientras que disminuye la variación de empleabilidad.

6.3. Efecto de la automatización en Chile

Para entender el efecto de un incremento de procesos automatizados P_{ij} se observarán tres escenarios: i) Aumento General, es decir, de capital automatizado bajo P_{il} y capital automatizado alto P_{ih} , ii) Aumento solo de capital automatizado bajo P_{il} , y iii) Aumento solo de capital automatizado alto P_{ih} .

En el primer escenario, como se puede apreciar en la tabla (a) del Cuadro 17, ante un aumento general de automatización el modelo no predice cambios en el mercado laboral, tanto para salarios o nivel de empleo.

Para analizar los dos escenarios restantes debemos considerar cómo es cada sector, ya que como se mencionó anteriormente el efecto de la automatización se ve condicionado por s_{ij} y γ_i . El siguiente Cuadro 12 resume cada sector.

CUADRO 12

RESUMEN PARAMETROS POR SECTORES

Sector	γ_i	s_{il}	s_{ih}
1	Muy Bajo	Muy Alto	Muy Bajo
2	Alto	Bajo	Muy Alto
3	Bajo	Bajo	Bajo
4	Muy Alto	Muy Bajo	Bajo
5	Bajo	Alto	Bajo

Los siguientes Cuadros 13 y 14 elaborados a partir de la tabla (b) y (c) del Cuadro 17 muestra el efecto en Chile de aumentar el capital robótico sobre el empleo y salario, respectivamente.

CUADRO 13

VARIACION EMPLEO ANTE AUMENTO DE PROCESOS AUTOMATIZADOS P_{ij} PARA CHILE

(a) Efecto empleo						(b) Efecto salario					
Variación	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Variación	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	e11	0,00%	0,00%	0,00%	-2,94%	-2,94%
e21	-5,24%	-9,41%	-12,90%	-15,62%	-17,75%	e21	5,72%	11,45%	17,17%	16,68%	22,41%
e31	1,59%	2,91%	4,07%	5,08%	5,98%	e31	-1,69%	-3,33%	-4,87%	-5,77%	-7,30%
e41	0,34%	0,61%	0,79%	0,93%	1,02%	e41	-0,38%	-0,79%	-1,20%	-0,86%	-1,29%
e51	0,31%	0,49%	0,62%	0,68%	0,74%	e51	-0,31%	-0,68%	-1,05%	-0,68%	-1,11%
u1	0,40%	0,81%	1,01%	1,21%	1,31%	u1	-0,51%	-1,01%	-1,41%	-1,21%	-1,72%
e12	0,00%	0,03%	0,03%	0,07%	0,10%	e12	0,00%	0,03%	0,03%	0,07%	0,07%
e22	-1,47%	-2,94%	-4,26%	-5,74%	-7,06%	e22	1,32%	2,35%	3,38%	4,26%	5,15%
e32	-0,43%	-0,83%	-1,23%	-1,60%	-2,00%	e32	0,37%	0,70%	1,00%	1,23%	1,47%
e42	0,67%	1,26%	1,76%	2,34%	2,85%	e42	-0,59%	-1,09%	-1,51%	-1,92%	-2,26%
e52	0,74%	1,57%	2,30%	2,95%	3,69%	e52	-0,74%	-1,38%	-1,94%	-2,40%	-2,86%
u2	0,60%	1,11%	1,63%	2,14%	2,65%	u2	-0,51%	-0,94%	-1,28%	-1,63%	-1,97%

Se aprecia que el efecto empleo provocado por la automatización se ve bastante modificado debido a la proporción de tareas bajas y tasas de destrucción de los sectores, por ejemplo, el segundo sector al presentar un bajo s_{21} frena el beneficio de

la automatización, mientras que el elevado γ_2 contrarresta el efecto, arrastrando una gran caída en el empleo. En general, se prevé un aumento del desempleo en ambos niveles educativos ante un aumento de capital robótico de baja educación P_{il} , mientras que se prevé una caída del desempleo en ambos niveles educativos ante un aumento de capital robótico de alta educación P_{ih} .

CUADRO 14

VARIACION SALARIOS ANTE AUMENTO DE PROCESOS AUTOMATIZADOS P_{ij} PARA CHILE

(a) Efecto empleo						(b) Efecto salario					
Variación	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Variación	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
w11	-0,61%	-1,11%	-1,55%	-1,95%	-2,32%	w11	0,57%	1,14%	1,68%	2,26%	2,76%
w21	-0,99%	-1,84%	-2,62%	-3,31%	-3,94%	w21	1,02%	1,99%	2,92%	3,84%	4,70%
w31	-1,11%	-2,07%	-2,93%	-3,69%	-4,38%	w31	1,16%	2,24%	3,30%	4,36%	5,34%
w41	-0,53%	-1,01%	-1,43%	-1,82%	-2,14%	w41	0,58%	1,11%	1,64%	2,14%	2,63%
w51	-0,68%	-1,27%	-1,79%	-2,25%	-2,67%	w51	0,72%	1,40%	2,08%	2,73%	3,35%
w12	0,28%	0,54%	0,79%	1,02%	1,26%	w12	-0,25%	-0,46%	-0,66%	-0,84%	-1,00%
w22	1,63%	3,20%	4,73%	6,21%	7,65%	w22	-1,55%	-2,88%	-4,07%	-5,15%	-6,08%
w32	1,22%	2,39%	3,51%	4,60%	5,64%	w32	-1,15%	-2,14%	-3,05%	-3,85%	-4,55%
w42	0,82%	1,61%	2,37%	3,10%	3,84%	w42	-0,79%	-1,47%	-2,07%	-2,61%	-3,08%
w52	0,65%	1,26%	1,84%	2,39%	2,95%	w52	-0,60%	-1,13%	-1,61%	-2,04%	-2,44%

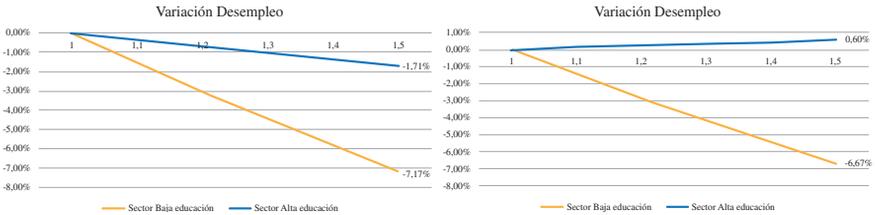
Se aprecia el cumplimiento de la conjetura 2, cayendo el salario donde aumenta la automatización y aumentando el salario en el otro nivel. Nuevamente el sector 2 es el más llamativo, sufriendo las caídas y subidas mayores. Se considera que en el primer escenario el sector no automatizado eleva su salario 7,65%, mientras que en el segundo escenario sufre una caída de 6,08%.

6.4. Efecto de la probabilidad de automatización en Chile

Las siguientes Figuras 1 y 2 elaboradas a partir del Cuadro 18 muestran el efecto que tiene en Chile un aumento en la probabilidad de automatización q_{ij} sobre empleo y salario, respectivamente. Al igual que en el inciso anterior, se analizarán tres escenarios: i) Aumento General, es decir, de PPA en nivel educativo bajo q_{il} y alto q_{ih} , ii) Aumento solo de PPA bajo q_{il} , y iii) Aumento solo de PPA alto q_{ih} .

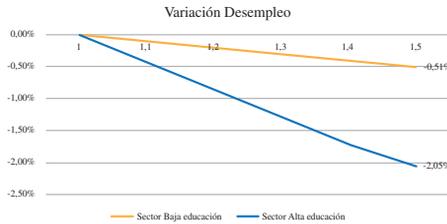
FIGURA 1

EFFECTO INCREMENTO q_{ij} EN VARIACION DEL EMPLEO



(a) Primer escenario: Aumento general q_{ij}

(b) Segundo escenario: Aumento q_{il}

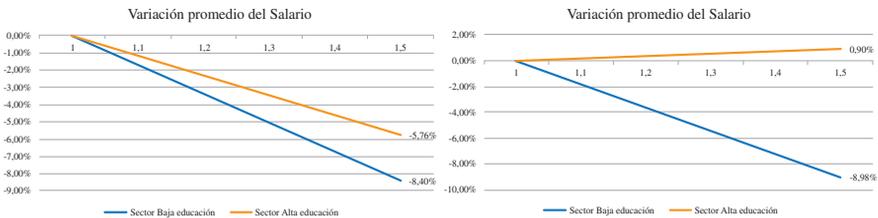


(c) Tercer escenario: Aumento q_{ih}

Se observa que al aumentar la probabilidad de automatización en un nivel educativo, en tal segmento cae el desempleo, siendo mayor la caída a mayor probabilidad de automatización. Además, cuando solo aumenta q_{il} el segmento de alta educación se ve levemente perjudicado al aumentar el desempleo.

FIGURA 2

EFFECTO INCREMENTO q_{ij} EN VARIACION SALARIAL



(a) Primer escenario: Aumento general q_{ij}

(b) Segundo escenario: Aumento q_{il}

(c) Tercer escenario: Aumento q_{ij}

Se observa que al aumentar la probabilidad de automatización de un nivel educativo, tal segmento en promedio sufre una fuerte caída en los salarios, mientras que el otro segmento se ve levemente beneficiado. También, se observa que si existe un aumento general de q_{ij} caen los salarios en ambos niveles educativos, siendo más fuerte en aquellos que tienen un nivel elevado de PPA q_{ij} .

A partir de las Figuras 1 y 2 se podría decir que, en términos generales, el aumento en la probabilidad promedio de automatización provoca un aumento en la demanda laboral a un menor salario, siendo mayor el efecto a mayores probabilidades de automatización.

CONCLUSIONES

Debido al rápido avance de la tecnología y las herramientas necesarias para esta, resurge las preocupaciones acerca de los costos y beneficios que se podrían generar de la automatización. El presente estudio es una extensión del trabajo realizado por Cords y Prettner (2019), teniendo como finalidad analizar los efectos que tiene la automatización en el mercado laboral, es decir, observar cómo varían las diferencias salariales y de empleabilidad tanto por niveles educativos como por sectores laborales.

Para esto se construye un modelo DMP de búsqueda laboral, existiendo distintos costos de mantener vacantes según el nivel educativo y distintas tasas de destrucción de empleo según nivel educativo y sector de la economía. Los procesos automatizados se agregan como factor de producción, donde pueden automatizar tareas realizadas tanto por trabajadores de alta educación así como de baja educación, existiendo distintas probabilidades de automatización según nivel educativo y sector de la economía. En un sector determinado los procesos automatizados son sustitutos perfectos de los trabajadores del nivel educativo donde se implementan y sustitutos imperfectos tanto de los trabajadores del otro segmento educativo como de los procesos automatizados allí.

A partir de la data proveniente desde la encuesta CASEN Observatorio Social (2017) y del trabajo de Arriagada (2019), se realizan simulaciones para entender el efecto de la automatización. En estos ejercicios se encuentra que al aumentar el capital robótico en un determinado nivel educativo y sector económico, en ese sector cae

el salario para los trabajadores de tal nivel educativo mientras que aumenta para los trabajadores del otro nivel educativo. También se encuentra que al aumentar el capital robótico en un determinado nivel y sector económico, la variación en empleabilidad es mayor en ese nivel educativo sobre el otro; no obstante, si la empleabilidad en cada nivel sube o baja dependerá de otras variables como la probabilidad de automatización, la proporción de tareas que se necesitan de tal nivel educativo, y la tasa de destrucción de empleo. Además, a mayor probabilidad de automatización, tasa de destrucción de empleo o proporción de tareas que se necesitan del otro nivel educativo, los efectos de la automatización sobre salario y empleabilidad se debilitan.

Calibrando la data para Chile, se encuentra que **ante un aumento general de capital robótico no existen cambios en el mercado laboral**, solo existiendo diferencias cuando aumenta el capital robótico en un nivel educativo. **Al aumentar el capital robótico 50% en el nivel educativo bajo, el desempleo aumenta**, en específico el desempleo en el nivel educativo bajo aumenta 1,31%, mientras que el desempleo en el nivel educativo alto aumenta 2,65%, además, **al aumentar el capital robótico 50% en el nivel educativo alto, el desempleo disminuye**, en específico, el desempleo en el nivel educativo alto cae 1,97%, mientras que el desempleo en el nivel educativo bajo cae 1,72%.

Los resultados que contribuyen a este estudio son fundamentales para analizar políticas que logren mitigar los efectos negativos de la automatización, así como potenciar los efectos positivos. Se logra ver un potencial enorme de política redistributiva, incentivando el importe o producción de capital robótico en aquellos sectores con diferencias significativas según nivel educativo, así se reduce la brecha salarial, procurando evitar el aumento de desempleo. Además, se podrían aplicar políticas de mitigación ante un aumento considerable de capital robótico en un nivel educativo; por ejemplo, subsidiar u otorgar créditos para la importación o producción de capital robótico en el otro nivel educativo y así contrarrestar el efecto.

Otras políticas interesantes de analizar son reducir el costo de educación para acortar las brechas salariales, así como mejorar las tasas de encontrar empleo para la reincorporación de trabajadores desplazados por la automatización. Además, debido al fuerte impacto que tiene la tasa de destrucción, una buena política sería buscar disminuir las tasas de destrucción que estén elevadas, esto podría ser subsidiando capacitaciones laborales para desincentivar el despido y aumentar la productividad laboral.

Dentro de las limitaciones de este estudio se encuentra no estudiar la transición de un nivel educativo a otro, ni cómo varía la decisión del capital humano, así como la falta de demostración de los efectos encontrados. Resulta sumamente interesante e importante la incorporación de estos lineamientos, así como el estudio de políticas en futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- ACEMOGLU, D. (2009). *Introduction to Modern Economic Growth*. Princeton University.
- ACEMOGLU, D., y RESTREPO, P. (2018a). Low-skill and high-skill automation. *Journal of Human Capital*, 12(2), 204-232.
- ACEMOGLU, D., y RESTREPO, P. (2018b). The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment. *American Economic Review*, 108(6), 1488-1542.
- ALMEIDA, R. K., FERNANDES, A. M., y VIOLLAZ, M. (2017). Does the Adoption of Complex Software Impact Employment Composition and the Skill Content of Occupations?
- ARRIAGADA, A. (2019). *Probabilidad de Automatización de los empleos en Chile*. Santiago, Chile: Universidad Alberto Hurtado.
- AUTOR, D. (2002). Skill Biased Technical Change and Rising Inequality: What is the Evidence? What are the Alternatives? *Class Notes, MIT*.
- AUTOR, D. H., KATZ, L. F., y KRUEGER, A. B. (1998). Computing inequality: have computers changed the labor market? *The Quarterly journal of economics*, 113(4), 1169-1213.
- BAUMOL, W. J. (1967). Macroeconomics of unbalanced growth: the anatomy of urban crisis. *The American economic review*, 57(3), 415-426.
- BOWEN, H. R. (1966). Report of the National Commission on Technology, Automation, and Economic Progress. *Personnel Journal*.
- BRYNJOLFSSON, E., y MCAFEE, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company.
- CASS, D. (1965). Optimum growth in an aggregative model of capital accumulation. *The Review of economic studies*, 32(3), 233-240.
- CHASSAMBOULLI, A., y PALIVOS, T. (2014). A search-equilibrium approach to the effects of immigration on labor market outcomes. *International Economic Review*, 55(1), 111-129.
- CHILE, L. N. (mayo de 2003). Reforma constitucional que establece la obligatoriedad y gratuidad de la educación media. Ley N° 19876, Artículo N° 19. Chile: Diario Oficial de la República de Chile.
- CORDS, D., y PRETTNER, K. (2019). Technological unemployment revisited: Automation in a search and matching framework. GLO Discussion Paper.
- DAUTH, W., FINDEISEN, S., SUDEKUM, J., y WOESSNER, N. (2017). German robots-the impact of industrial robots on workers. *CEPR discussion paper no. DP12306*.
- DAVID, H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of economic perspectives*, 29(3), 3-30.
- DAVID, H., y DORN, D. (2013). The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market. *American Economic Review*, 103(5), 1553-97.
- FREY, C. B., y OSBORNE, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological forecasting and social change*, 114, 254-280.
- GROSSMANN, V., STEGER, T., y TRIMBORN, T. (2013). Dynamically optimal R&D subsidization. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 37(3), 516-534.
- HOSIOS, A. J. (1990). On the efficiency of matching and related models of search and unemployment. *The Review of Economic Studies*, 57(2), 279-298.
- KEYNES, J. M. (1930). Economic possibilities for our grandchildren. En *Essays in persuasion* (págs. 321-332). Springer.
- KOOPMANS, T. C. (1965). "On the concept of optimal economic growth", in *The Econometric Approach to Development Planning*, North Holland, Amsterdam.
- KREMER, M. (1993). The O-ring theory of economic development. *The Quarterly Journal of Economics*, 108(3), 551-575.
- LEDUC, S., y LIU, Z. (2020). Robots or Workers? A Macro Analysis of Automation and Labor Markets. *Federal Reserve Bank of San Francisco*.
- LIN, J. (2011). Technological adaptation, cities, and new work. *Review of Economics and Statistics*, 93(2), 554-574.

- MOKYR, J., VICKERS, C., y ZIEBARTH, N. L. (2015). The history of technological anxiety and the future of economic growth: Is this time different? *Journal of economic perspectives*, 29(3), 31-50.
- MORTIMER, T. (1772). *The Elements of Commerce, Politics and Finances, in Three Treatises*. Hooper.
- PETRONGOLO, B., y PISSARIDES, C. A. (2001). Looking into the black box: A survey of the matching function. *Journal of Economic literature*, 39(2), 390-431.
- PNUD (2017). *Desiguales. Orígenes, cambios y desafíos de la brecha social en Chile*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
- PRATT, G. A. (2015). Is a Cambrian explosion coming for robotics? *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 51-60.
- PRETTNER, K. (2019). A note on the implications of automation for economic growth and the labor share. *Macroeconomic Dynamics*, 23(3), 1294-1301.
- RIVERA, T. (2019). Efectos de la automatización en el empleo en Chile. *Revista de Análisis Económico*, 34(1), 3-49.
- SACHS, J. D., BENZELL, S. G., y LAGARDA, G. (2015). Robots: Curse or blessing? A basic framework. *National Bureau of Economic Research*.
- SOCIAL, O. (2017). Encuesta de caracterización socioeconómica nacional. Chile: Ministerio de Desarrollo Social.
- SOLOW, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 70(1), 65-94.
- STEIGUM, E. (2011). *Frontiers of Economics and Globalization: Economic Growth and Development*, chapter 21: Robotics and Growth. Emerald Group.

APENDICE MATEMATICO

1. Productividades del modelo

A partir de la ecuación (7) y (10) podemos obtener el capital físico K :

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial Y}{\partial K} &= p_K \\
 \alpha AK^{\alpha-1} \chi^{1-\alpha} &= r + \delta \\
 \left(\frac{K}{\chi}\right)^{\alpha-1} &= \frac{r + \delta}{\alpha A} \\
 K^{\alpha-1} &= \left(\frac{r + \delta}{\alpha A}\right) \chi^{\alpha-1} \\
 K &= \left(\frac{r + \delta}{\alpha A}\right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \chi \\
 \rightarrow K &= \left(\frac{\alpha A}{r + \delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left\{ \sum_{i=1}^5 [\gamma_i \lambda_i^\sigma + (1-\gamma_i) \eta_i^\sigma]^\frac{1}{\sigma} \right\}
 \end{aligned}$$

Del mismo modo, a partir de la ecuación (7) y (12) obtenemos $\frac{\partial Y}{\partial j} = p_j$

$$\begin{aligned}
 p_{iL} &= \frac{\partial Y}{\partial L_i} \\
 p_{iL} &= (1-\alpha) AK^\alpha \chi^{-\alpha} \left(\frac{1}{\sigma}\right) [\gamma_i \lambda_i^\sigma + (1-\gamma_i) \eta_i^\sigma]^\frac{1-\sigma}{\sigma} \gamma_i \sigma \lambda_i^{\sigma-1} (1-q_{iL}) \\
 p_{iL} &= (1-\alpha) Y \chi^{-1} \gamma_i \lambda_i^{\sigma-1} [\gamma_i \lambda_i^\sigma + (1-\gamma_i) \eta_i^\sigma]^\frac{1-\sigma}{\sigma} (1-q_{iL}) \\
 \frac{p_{iL}}{p_{iK}} &= \frac{(1-\alpha) Y \chi^{-1} \gamma_i \lambda_i^{\sigma-1} [\gamma_i \lambda_i^\sigma + (1-\gamma_i) \eta_i^\sigma]^\frac{1-\sigma}{\sigma} (1-q_{iL})}{\alpha Y K^{-1}} \\
 \frac{p_{iL}}{p_{iK}} &= \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \gamma_i (1-q_{iL}) [\lambda_i^{-\sigma} (\gamma_i \lambda_i^\sigma + (1-\gamma_i) \eta_i^\sigma)]^\frac{1-\sigma}{\sigma} K \chi^{-1} \\
 \frac{p_{iL}}{p_{iK}} &= \frac{(1-\alpha)}{\alpha} \gamma_i (1-q_{iL}) [\gamma_i \lambda_i^0 + (1-\gamma_i) \lambda_i^{-\sigma} \eta_i^\sigma]^\frac{1-\sigma}{\sigma} \left(\frac{r + \delta}{\alpha A}\right)^\frac{1}{\alpha-1} \chi \chi^{-1} \\
 p_{iL} &= (1-\alpha) \alpha^{-1} \gamma_i (1-q_{iL}) \left[\gamma_i + (1-\gamma_i) \left(\frac{\eta_i}{\lambda_i}\right) \right]^\frac{1-\sigma}{\sigma} (r + \delta)^\frac{1}{\alpha-1} \alpha^{1-\alpha} p_K \\
 p_{iL} &= (1-\alpha) \gamma_i (1-q_{iL}) \alpha^\frac{\alpha}{1-\alpha} A^\frac{1}{1-\alpha} \left[\gamma_i + (1-\gamma_i) \left(\frac{\eta_i}{\lambda_i}\right) \right]^\frac{1-\sigma}{\sigma} (r + \delta)^\frac{1}{\alpha-1} (r + \delta)
 \end{aligned}$$

$$\rightarrow p_{iL} = (1-\alpha)\gamma_i(1-q_{iL})A^{\frac{1}{1-\alpha}}\left(\frac{\alpha}{r+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}\left[\gamma_i + (1-\gamma_i)\left(\frac{\eta_i}{\lambda_i}\right)^\sigma\right]^{\frac{1-\sigma}{\sigma}}$$

Así, por analogía obtenemos:

$$\rightarrow p_{iH} = (1-\alpha)(1-\gamma_i)(1-q_{iH})A^{\frac{1}{1-\alpha}}\left(\frac{\alpha}{r+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}\left[\gamma_i\left(\frac{\lambda_i}{\eta_i}\right)^\sigma + (1-\gamma_i)\right]^{\frac{1-\sigma}{\sigma}}$$

2. Determinación salario, flujo desempleo, y *tightness*

De la ecuación (15), junto con la condición de largo plazo, tenemos:

$$\begin{aligned}(1+r)V_{ij} &= -h_{ij} + \alpha_{ij}F_{ij} \\ 0 &= -h_{ij} + \alpha_{ij}F_{ij} \\ \rightarrow F_{ij} &= \frac{h_{ij}}{\alpha_{ij}}\end{aligned}$$

De la ecuación (16) tenemos:

$$\begin{aligned}rF_{ij} &= (p_{ij} - w_{ij}) + s_{ij}V_{ij} - s_{ij}F_{ij} \\ \rightarrow F_{ij} &= \frac{(p_{ij} - w_{ij})}{(r + s_{ij})}\end{aligned}$$

A partir de (18) y (19), junto con la condición de largo plazo, se tiene:

$$\begin{aligned}\frac{h_{ij}}{\alpha_{ij}} &= \frac{(p_{ij} - w_{ij}) + s_{ij}V_{ij}}{(r + s_{ij})} \\ \frac{h_{ij}(r + s_{ij})}{\alpha_{ij}} &= (p_{ij} - w_{ij}) + s_{ij}V_{ij} \\ \rightarrow w_{ij} &= p_{ij} - \frac{(r + s_{ij})h_{ij}}{\alpha_{ij}}\end{aligned}$$

A partir de (5) y (6) se obtiene:

$$\begin{aligned} (r + s_{ij})E_{ij} &= w_{ij} + s_{ij}U_j \\ \rightarrow E_{ij} &= \frac{w_{ij} + s_{ij}U_j}{(r + s_{ij})} \\ E_{ij} - U_j &= \frac{w_{ij} + s_{ij}U_j}{(r + s_{ij})} - U_j \\ E_{ij} - U_j &= \frac{w_{ij} + s_{ij}U_j - rU_j - s_{ij}U_j}{(r + s_{ij})} \\ \rightarrow E_{ij} - U_j &= \frac{w_{ij} - rU_j}{(r + s_{ij})} \end{aligned}$$

Determinación de salario:

$$\begin{aligned} \{\psi_j\}: \quad \psi_j [E_{ij} - U_j]^{\psi_j - 1} \frac{\partial E_{ij} - U_j}{\partial w} [F_{ij} - V_{ij}]^{1 - \psi_j} + (1 - \psi_j) [F_{ij} - V_{ij}]^{-\psi_j} \frac{\partial F_{ij} - V_{ij}}{\partial w} [E_{ij} - U_j]^{\psi_j} &= 0 \\ \{\psi_j\}: \quad \psi_j [E_{ij} - U_j]^{\psi_j - 1} \left[\frac{1}{r + s_{ij}} \right] [F_{ij} - V_{ij}]^{1 - \psi_j} + (1 - \psi_j) [F_{ij} - V_{ij}]^{-\psi_j} \left[\frac{-1}{r + s_{ij}} \right] [E_{ij} - U_j]^{\psi_j} &= 0 \\ \{\psi_j\}: \quad \psi_j [F_{ij} - V_{ij}] &= (1 - \psi_j) [E_{ij} - U_j] \\ \{\psi_j\}: \quad \psi_j [F_{ij}] &= (1 - \psi_j) \left[\frac{w_{ij} - rU_j}{(r + s_{ij})} \right] \\ \{\psi_j\}: \quad \psi_j \left[\frac{(p_{ij} - w_{ij})}{(r + s_{ij})} \right] &= (1 - \psi_j) \left[\frac{w_{ij} - rU_j}{(r + s_{ij})} \right] \\ \{\psi_j\}: \quad \psi_j [p_{ij} - w_{ij}] &= (1 - \psi_j) [w_{ij} - rU_j] \\ \rightarrow w_{ij} &= \psi_j p_{ij} + (1 - \psi_j) rU_j \end{aligned}$$

Determinación flujo del desempleo:

$$\begin{aligned}
 rU_j &= z_j + \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{ij} \left(\frac{w_{ij} + s_{ij}U_j}{(r + s_{ij})} - U_j \right) \\
 rU_j &= z_j + \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{ij} \left(\frac{w_{ij} + s_{ij}U_j - rU_j - s_{ij}U_j}{(r + s_{ij})} \right) \\
 rU_j &= z_j + \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{ij} \left(\frac{w_{ij} - rU_j}{r + s_{ij}} \right) \\
 rU_j &= z_j + \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{ij} \left(\frac{\psi_j p_{ij} + (1 - \psi_j) rU_j - rU_j}{r + s_{ij}} \right) \\
 \rightarrow rU_j &= z_j + \psi_j \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{ij} \left(\frac{p_{ij} - rU_j}{r + s_{ij}} \right)
 \end{aligned}$$

Determinación tightness: A partir del salario de indiferencia para las firmas, y el salario negociado, obtenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 p_{ij} - \frac{(r + s_{ij})h_{ij}}{\alpha_{ij}} &= \psi_j p_{ij} + (1 - \psi_j) rU_j \\
 (1 - \psi_j)(p_{ij} - rU_j) &= \frac{(r + s_{ij})h_{ij}\phi_{ij}\theta_j}{m(\phi_{ij}\theta_j)} \\
 \frac{m(\phi_{ij}\theta_j)}{\phi_{ij}\theta_j} &= \frac{(r + s_{ij})h_{ij}}{(1 - \psi_j)(p_{ij} - rU_j)} \\
 \frac{(\phi_{ij}\theta_j)^\omega}{\phi_{ij}\theta_j} &= \frac{(r + s_{ij})h_{ij}}{(1 - \psi_j)(p_{ij} - rU_j)} \\
 \rightarrow (\phi_{ij}\theta_j)^{\omega-1} &= \frac{(r + s_{ij})h_{ij}}{(1 - \psi_j)(p_{ij} - rU_j)}
 \end{aligned}$$

ANEXO

1. Tablas de resultados

CUADRO 15

RESULTADOS AUMENTO DE PROCESOS AUTOMATIZADOS P_{ij} CON $\overline{s_{ij}}, \overline{s_{ih}}$ Y $\overline{\gamma_i}$

(a) Aumento de P_{ii}							(b) Aumento de P_{ih}						
Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	0,083	0,084	0,086	0,087	0,088	0,089	e11	0,083	0,081	0,080	0,078	0,077	0,075
e21	0,086	0,088	0,089	0,090	0,092	0,093	e21	0,086	0,085	0,083	0,082	0,080	0,079
e31	0,130	0,131	0,131	0,131	0,131	0,131	e31	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130
e41	0,142	0,142	0,142	0,142	0,141	0,141	e41	0,142	0,143	0,143	0,143	0,143	0,144
e51	0,165	0,163	0,163	0,162	0,161	0,160	e51	0,165	0,166	0,167	0,168	0,169	0,170
u1	0,394	0,392	0,390	0,389	0,387	0,386	u1	0,394	0,396	0,398	0,400	0,402	0,404
w11	0,561	0,553	0,546	0,540	0,534	0,530	w11	0,561	0,569	0,576	0,584	0,591	0,598
w21	0,553	0,545	0,538	0,532	0,527	0,522	w21	0,553	0,561	0,568	0,576	0,583	0,589
w31	0,458	0,453	0,449	0,445	0,442	0,439	w31	0,458	0,463	0,468	0,472	0,477	0,481
w41	0,433	0,429	0,426	0,423	0,420	0,417	w41	0,433	0,438	0,442	0,446	0,449	0,453
w51	0,388	0,386	0,383	0,381	0,379	0,378	w51	0,388	0,391	0,394	0,397	0,399	0,401
e12	0,066	0,064	0,062	0,061	0,053	0,052	e12	0,066	0,069	0,072	0,074	0,076	0,078
e22	0,095	0,092	0,089	0,086	0,080	0,077	e22	0,095	0,098	0,100	0,102	0,104	0,106
e32	0,188	0,188	0,188	0,188	0,189	0,189	e32	0,188	0,188	0,187	0,187	0,187	0,187
e42	0,210	0,211	0,211	0,212	0,215	0,215	e42	0,210	0,209	0,208	0,207	0,206	0,205
e52	0,258	0,261	0,264	0,266	0,272	0,274	e52	0,258	0,255	0,253	0,251	0,248	0,247
u2	0,183	0,185	0,186	0,188	0,191	0,192	u2	0,183	0,182	0,181	0,179	0,178	0,177
w12	0,639	0,651	0,663	0,673	0,685	0,695	w12	0,639	0,628	0,618	0,609	0,601	0,594
w22	0,589	0,599	0,609	0,618	0,627	0,636	w22	0,589	0,580	0,571	0,564	0,557	0,551
w32	0,467	0,473	0,479	0,484	0,490	0,495	w32	0,467	0,461	0,456	0,452	0,448	0,444
w42	0,440	0,445	0,450	0,455	0,460	0,464	w42	0,440	0,435	0,431	0,427	0,423	0,420
w52	0,381	0,384	0,387	0,390	0,393	0,396	w52	0,381	0,378	0,375	0,372	0,370	0,368

CUADRO 16

RESULTADOS DE PROCESOS AUTOMATIZADOS P_{ij} CONDICIONANDO s_{ij} Y γ_i

(a) Resultados aumento de procesos automatizados P_{ii} con $\overline{s_{ij}}, \overline{s_{ih}}$ y $\min(\gamma_i)$							(b) Resultados aumento de procesos automatizados P_{ih} con $\overline{s_{ij}}, \overline{s_{ih}}$ Y $\overline{\gamma_i}$						
Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	0,0732	0,0772	0,0807	0,0837	0,0863	0,0911	e11	0,1308	0,1309	0,131	0,1311	0,1311	0,1312
e21	0,0825	0,0869	0,0906	0,0939	0,0969	0,1013	e21	0,1308	0,1309	0,131	0,1311	0,1311	0,1312
e31	0,2178	0,2172	0,2166	0,2161	0,2156	0,2143	e31	0,1323	0,1323	0,1323	0,1323	0,1323	0,1323
e41	0,2545	0,2524	0,2505	0,2489	0,2474	0,2449	e41	0,1327	0,1327	0,1327	0,1327	0,1326	0,1326
e51	0,3228	0,3178	0,3135	0,3097	0,3064	0,3016	e51	0,1335	0,1334	0,1333	0,1333	0,1332	0,1332
u1	0,0491	0,0486	0,0481	0,0477	0,0473	0,0468	u1	0,3399	0,3398	0,3397	0,3396	0,3396	0,3395
w11	0,4537	0,4455	0,4383	0,432	0,4265	0,4212	w11	0,3009	0,3003	0,2998	0,2993	0,2989	0,2986

(a) Resultados aumento de procesos automatizados P_{it} con $\bar{s}_{it}, \bar{s}_{ih}$ y $\min(\gamma_i)$

Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
w21	0,4459	0,4376	0,4303	0,4239	0,4181	0,4127
w31	0,3511	0,3458	0,3412	0,337	0,3333	0,3297
w41	0,3267	0,3222	0,3182	0,3146	0,3114	0,3083
w51	0,2818	0,2787	0,2759	0,2734	0,2711	0,2689
e12	0,0548	0,0543	0,0551	0,057	0,0597	0,063
e22	0,0868	0,0822	0,0778	0,0737	0,07	0,0665
e32	0,2162	0,216	0,2155	0,2147	0,2136	0,2123
e42	0,2468	0,2478	0,2483	0,2485	0,2484	0,248
e52	0,3142	0,3178	0,3209	0,3234	0,3254	0,3271
u2	0,0812	0,0818	0,0823	0,0827	0,0829	0,0831
w12	0,6066	0,6186	0,6299	0,6406	0,6507	0,6606
w22	0,5561	0,5663	0,5759	0,5852	0,5941	0,6028
w32	0,4341	0,4401	0,4458	0,4513	0,4566	0,4616
w42	0,407	0,4122	0,4171	0,4218	0,4263	0,4306
w52	0,3477	0,351	0,3542	0,3571	0,36	0,3627

(b) Resultados aumento de procesos automatizados P_{it} con $\bar{s}_{it}, \bar{s}_{ih}$ y $\bar{\gamma}_i$

Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
w21	0,3009	0,3003	0,2998	0,2993	0,2989	0,2986
w31	0,2974	0,297	0,2966	0,2963	0,296	0,2958
w41	0,2964	0,296	0,2957	0,2955	0,2952	0,295
w51	0,2946	0,2943	0,2941	0,2939	0,2937	0,2936
e12	0,1148	0,1152	0,1155	0,1158	0,1161	0,1164
e22	0,0719	0,0722	0,0724	0,0726	0,0728	0,0729
e32	0,1475	0,1473	0,1472	0,147	0,1468	0,1467
e42	0,19	0,1898	0,1897	0,1895	0,1894	0,1892
e52	0,2851	0,285	0,2849	0,2848	0,2848	0,2847
u2	0,1906	0,1905	0,1904	0,1903	0,1902	0,1901
w12	0,9017	0,9025	0,9034	0,9041	0,9049	0,9056
w22	0,8426	0,8434	0,8441	0,8448	0,8454	0,8461
w32	0,6275	0,628	0,6284	0,6289	0,6293	0,6297
w42	0,5769	0,5773	0,5777	0,5781	0,5784	0,5788
w52	0,4663	0,4665	0,4668	0,467	0,4672	0,4674

CUADRO 17

RESULTADOS AUMENTO DE PROCESOS AUTOMATIZADOS P_{ij}

(a) Primer escenario:
Aumento general P_{it} y P_{ih}

Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
e21	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103
e31	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189
e41	0,443	0,443	0,443	0,443	0,443	0,443
e51	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162
u1	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099
w11	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297	0,297
w21	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598
w31	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406	0,406
w41	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434
w51	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307
e12	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287
e22	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068
e32	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
e42	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
e52	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
u2	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117
w12	0,849	0,849	0,849	0,850	0,850	0,850
w22	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472	0,472
w32	0,452	0,452	0,452	0,453	0,453	0,453
w42	0,367	0,367	0,367	0,367	0,367	0,367
w52	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397	0,397

(b) Segundo escenario:
Aumento P_{it}

Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
e21	0,103	0,098	0,093	0,090	0,087	0,085
e31	0,189	0,192	0,195	0,197	0,199	0,200
e41	0,443	0,445	0,446	0,447	0,447	0,448
e51	0,162	0,163	0,163	0,163	0,163	0,164
u1	0,099	0,099	0,100	0,100	0,100	0,100
w11	0,297	0,295	0,294	0,293	0,291	0,290
w21	0,598	0,592	0,587	0,583	0,579	0,575
w31	0,406	0,402	0,398	0,395	0,391	0,389
w41	0,434	0,432	0,430	0,428	0,426	0,425
w51	0,307	0,305	0,303	0,302	0,300	0,299
e12	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287
e22	0,068	0,067	0,066	0,065	0,064	0,063
e32	0,300	0,299	0,298	0,297	0,295	0,294
e42	0,120	0,120	0,121	0,122	0,122	0,123
e52	0,109	0,109	0,110	0,111	0,111	0,113
u2	0,117	0,118	0,118	0,119	0,119	0,120
w12	0,849	0,851	0,854	0,856	0,858	0,860
w22	0,472	0,480	0,487	0,494	0,501	0,508
w32	0,452	0,458	0,463	0,468	0,473	0,478
w42	0,367	0,370	0,373	0,376	0,379	0,381
w52	0,397	0,400	0,402	0,405	0,407	0,409

(c) Tercer escenario: Aumento P_{ih}

Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
e21	0,103	0,109	0,115	0,121	0,120	0,126
e31	0,189	0,186	0,183	0,180	0,178	0,175
e41	0,443	0,442	0,440	0,438	0,439	0,438
e51	0,162	0,162	0,161	0,161	0,161	0,161
u1	0,099	0,099	0,098	0,098	0,098	0,097
w11	0,297	0,299	0,301	0,302	0,304	0,305
w21	0,598	0,604	0,610	0,616	0,621	0,626
w31	0,406	0,411	0,416	0,420	0,424	0,428
w41	0,434	0,437	0,439	0,441	0,443	0,445
w51	0,307	0,309	0,312	0,314	0,316	0,318
e12	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287
e22	0,068	0,069	0,070	0,070	0,071	0,072
e32	0,300	0,301	0,302	0,303	0,304	0,305
e42	0,120	0,119	0,118	0,118	0,117	0,117
e52	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105
u2	0,117	0,116	0,116	0,115	0,115	0,115
w12	0,849	0,847	0,845	0,843	0,842	0,840
w22	0,472	0,465	0,458	0,453	0,448	0,443
w32	0,452	0,447	0,443	0,439	0,435	0,432
w42	0,367	0,364	0,362	0,360	0,358	0,356
w52	0,397	0,395	0,393	0,391	0,389	0,388

CUADRO 18

RESULTADOS AUMENTO DE PROBABILIDAD DE AUTOMATIZACION q_{ij} (a) Primer escenario: Aumento q_{il}

Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
e21	0,103	0,102	0,100	0,099	0,097	0,096
e31	0,189	0,188	0,187	0,185	0,184	0,183
e41	0,443	0,450	0,457	0,463	0,470	0,476
e51	0,162	0,160	0,157	0,155	0,152	0,150
u1	0,099	0,098	0,096	0,095	0,094	0,092
e12	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287
e22	0,068	0,068	0,068	0,067	0,067	0,067
e32	0,300	0,300	0,300	0,300	0,299	0,299
e42	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
e52	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
u2	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,118
w11	0,297	0,294	0,290	0,286	0,283	0,279
w21	0,598	0,591	0,585	0,578	0,571	0,564
w31	0,406	0,398	0,390	0,382	0,374	0,366
w41	0,434	0,423	0,412	0,400	0,389	0,378

(b) Segundo escenario: Aumento q_{ih}

Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
e21	0,103	0,104	0,105	0,107	0,108	0,109
e31	0,189	0,188	0,188	0,187	0,187	0,186
e41	0,443	0,443	0,443	0,442	0,442	0,442
e51	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162
u1	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099
e12	0,287	0,287	0,286	0,286	0,285	0,285
e22	0,068	0,068	0,067	0,067	0,066	0,066
e32	0,300	0,301	0,302	0,303	0,303	0,304
e42	0,120	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115
e52	0,109	0,110	0,112	0,113	0,115	0,116
u2	0,117	0,116	0,116	0,115	0,115	0,114
w11	0,297	0,297	0,298	0,298	0,298	0,299
w21	0,598	0,600	0,601	0,602	0,603	0,604
w31	0,406	0,407	0,408	0,409	0,410	0,411
w41	0,434	0,435	0,435	0,436	0,436	0,436

(a) Primer escenario: Aumento q_{il}

Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
w51	0,307	0,301	0,295	0,288	0,282	0,276
w12	0,849	0,849	0,850	0,850	0,851	0,851
w22	0,472	0,473	0,475	0,476	0,478	0,479
w32	0,452	0,454	0,455	0,456	0,457	0,458
w42	0,367	0,368	0,368	0,369	0,370	0,370
w52	0,397	0,398	0,398	0,399	0,399	0,400

(b) Segundo escenario: Aumento q_{ih}

Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
w51	0,307	0,308	0,308	0,309	0,309	0,309
w12	0,849	0,845	0,840	0,836	0,832	0,827
w22	0,472	0,467	0,463	0,459	0,454	0,450
w32	0,452	0,446	0,439	0,433	0,427	0,420
w42	0,367	0,363	0,360	0,356	0,352	0,349
w52	0,397	0,387	0,376	0,366	0,356	0,345

(c) Tercer escenario: general q_{ij}

Variable	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
e11	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
e21	0,103	0,103	0,102	0,102	0,102	0,102
e31	0,189	0,187	0,185	0,184	0,182	0,180
e41	0,443	0,450	0,456	0,462	0,468	0,474
e51	0,162	0,160	0,157	0,154	0,152	0,149
u1	0,099	0,098	0,096	0,095	0,093	0,092
e12	0,287	0,287	0,286	0,286	0,285	0,285
e22	0,068	0,067	0,067	0,066	0,066	0,065
e32	0,300	0,301	0,301	0,302	0,302	0,303
e42	0,120	0,119	0,118	0,117	0,116	0,116
e52	0,109	0,110	0,112	0,114	0,115	0,117
u2	0,117	0,116	0,116	0,116	0,115	0,115
w11	0,297	0,294	0,291	0,287	0,284	0,280
w21	0,598	0,593	0,587	0,581	0,575	0,569
w31	0,406	0,399	0,392	0,384	0,377	0,369
w41	0,434	0,423	0,412	0,402	0,391	0,380
w51	0,307	0,301	0,295	0,289	0,283	0,277
w12	0,849	0,845	0,841	0,837	0,833	0,829
w22	0,472	0,469	0,466	0,463	0,460	0,457
w32	0,452	0,447	0,441	0,436	0,430	0,425
w42	0,367	0,364	0,361	0,357	0,354	0,351
w52	0,397	0,387	0,377	0,367	0,357	0,347