

The background features a collage of financial data visualizations, including line graphs, bar charts, and pie charts, all rendered in shades of blue and purple. The BCCR logo is prominently displayed in a dark blue circle on the right side. The main title is centered in a large, bold, dark blue font.

Jornadas virtuales de
**Investigación
Económica** 2022

BCCR BANCO
CENTRAL DE
COSTA RICA

Complementariedades estratégicas en un modelo dinámico de adopción de Fintech

Autores:

Fernando Álvarez, David Argente, Francesco Lippi,
Esteban Méndez Chacón & Diana Van Patten Rivera

24 de noviembre, 2022



Las ideas aquí expresadas son de los autores y no necesariamente representan las del Banco Central de Costa Rica.

- Las externalidades de red que se presentan cuando se introduce una nueva tecnología pueden dar lugar a:
 - Amplios estado-espacio, múltiples equilibrios, decisiones no lineales.
- En esta investigación, se propone un modelo dinámico de adopción de tecnología con complementariedades estratégicas:
 - Los agentes esperan a otros antes de adoptar la tecnología, lo que da lugar a una adopción lenta.

- El problema individual y la adopción agregada se presentan como un problema en donde:
 - Las decisiones individuales dependen del agregado, y viceversa.
 - Las complementariedades pueden generar múltiples trayectorias de equilibrio, múltiples estados estacionarios.
- Muchos bienes/servicios poseen externalidades de red: redes sociales, juegos en línea, plataformas de financiamiento colectivo.

Introducción

Aplicación: Sinpe Móvil.

- Servicio de pagos electrónicos desarrollado por el BCCR y las entidades financieras del país:
 - Inició operaciones en mayo de 2015.
 - A diciembre de 2021, había sido utilizado por 71 % de la población adulta bancarizada (\approx 60 % de la población adulta).
 - Durante el 2021, el valor transado representó \approx el 10 % del PIB.
- El contar con información desde que se lanzó Sinpe Móvil permite evaluar las predicciones del modelo.
- Se calibra el modelo a partir de información de la plataforma.



Esquema de la presentación

1. Modelo
2. Datos
3. Evidencia empírica
4. Calibración del modelo
5. Conclusiones

Modelo

- Continuo de agentes que difieren en los beneficios potenciales de utilizar una tecnología.
- $N(t)$: fracción de agentes que han adoptado la tecnología.
- x : beneficio idiosincrático de utilizar la tecnología. Este beneficio cambia en el tiempo.
- Si un agente adopta la tecnología, su flujo de beneficios es:

$$x(\theta_0 + \theta_n N(t)) \quad \text{con } \theta_0, \theta_n > 0$$

- θ_n : grado de importancia de las complementariedades estratégicas.

Modelo



- $c > 0$: costo fijo de adoptar la tecnología.
- Los agentes descuentan a una tasa r , y mueren a una tasa ν (i.e., la tasa de descuento es $\rho = r + \nu$).
- Los agentes que mueren son reemplazados por agentes que no poseen la tecnología, y los cuales obtienen una realización de x .

Modelo



- Los agentes deciden en qué periodo τ es óptimo adoptar, a partir del flujo de beneficios esperado en cada momento del tiempo.
- Los agentes toman el sendero de $N(t)$ como dado.
- La solución es de forma tal que existe un umbral (\bar{x}) a partir del cual los agentes adoptan la tecnología en el momento t .
- La suma de las elecciones de los agentes define la fracción de adoptantes $N(t)$.
- El equilibrio del modelo existe, puede ser múltiple y no necesariamente estable.

► Detalle del modelo

Datos

- Información sobre transacciones en Sinpe Móvil.
 - Remitentes, destinatarios y monto de la transacción.
- Información sobre redes de los agentes:
 - Redes de compañeros de trabajo: a partir de panel de datos que vincula empresas y trabajadores.
Ingresos e historial laboral.
 - Redes de vecinos: Padrón Nacional Electoral.
Centro de votación asignado.
- La información es mensual y abarca desde 2015 al 2021.

Hechos estilizados de la adopción de Sinpe Móvil

- La tecnología se difundió lentamente. ▶ Adopción
- La mayoría de las transacciones son entre personas físicas. ▶ P2P
- Los individuos pertenecen a alguna de las redes consideradas. ▶ Redes
- Evidencia de selección. ▶ Selección
- Evidencia de complementariedades estratégicas. ▶ Complementariedades estratégicas

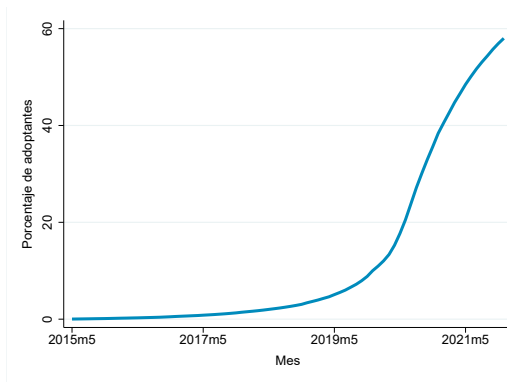
La tecnología se difundió lentamente

▶ Regresar

▶ Tenencia de celulares



- Se considera que un usuario adopta Sinpe Móvil a partir del primer momento que envía o recibe una transferencia mediante la plataforma.

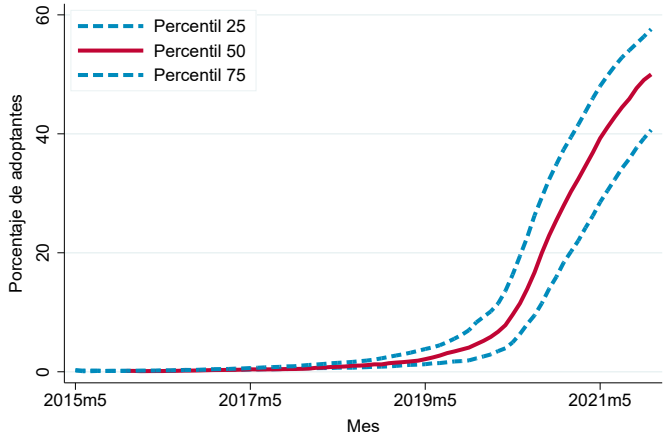


Adoptantes como % de la población adulta.

- Se necesitaron más de 5 años para que el 30 % de la población adulta adoptara.

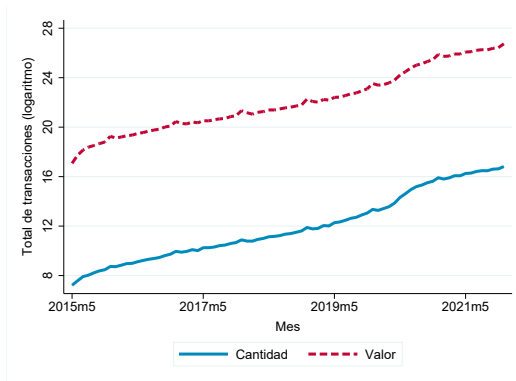
La tecnología se difundió lentamente

[▶ Regresar](#)



Difusión dentro del vecindario.

La tecnología se difundió lentamente [▶ Regresar](#)



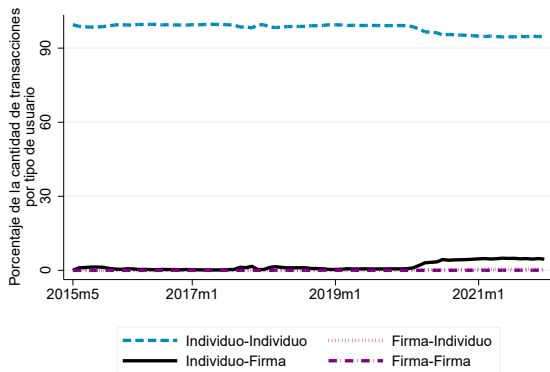
Cantidad y valor de las transacciones totales (en logaritmos).

- En términos reales (Colones de 2020), la transacción promedio es alrededor de ₡27,157, y ha sido decreciente en el tiempo (mediana: ₡28,283).

[▶ Monto promedio de la transacción](#)

La mayoría de las transacciones son entre personas físicas

► Regresar



- Las transacciones entre personas físicas representan más del 90 % de todas las transacciones.

► Por valor de las transacciones

Los individuos pertenecen a alguna de las redes consideradas

[▶ Regresar](#)

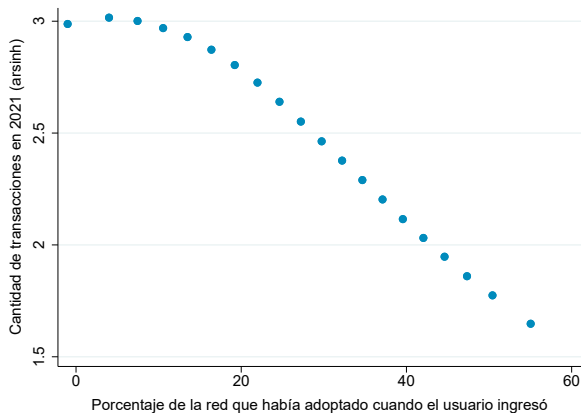


Porcentaje de transacciones dentro de cada red
(cantidad de transacciones)

	Vecinos	Compañeros de trabajo
Vecinos	43 %	
Compañeros de trabajo	62 %	44 %

- Durante el 2021, en promedio, cada mes se tienen transacciones con cinco usuarios distintos (mediana: cinco). [▶ Detalle de conexiones](#)

[▶ Resultado con valor de las transacciones](#)



- Los primeros usuarios (cuando las redes eran pequeñas) utilizan Sinpe Móvil de manera más intensiva.

- Se utiliza la especificación:

$$\Delta \text{arsinh}(\xi_{it}^n) = \gamma + \tilde{\theta} \Delta N_t^n + \lambda_t + \nu_{it}^n,$$

donde ξ_{it}^n representa la cantidad o valor de las transacciones, N_t^n la fracción de la red del usuario que han adoptado, λ_t efectos fijos de mes, y arsinh es el operador del seno hiperbólico inverso ($\ln(y + \sqrt{y^2 + 1})$).

Variable dependiente: Δ Cantidad de transacciones mensuales

	(1)	(2)	(3)
Δ Fracción adoptantes en el vecindario	1.062*** (0.025)		1.019*** (0.031)
Δ Fracción adoptantes en el trabajo		0.228*** (0.006)	0.225*** (0.006)
Observaciones	25,632,610	16,208,557	16,208,557
R ² Ajustado	0.021	0.026	0.026

Notas: Todas las estimaciones controlan por el tamaño de la red y efectos fijos de mes. Además, las columnas (2) y (3) controlan por salario. Los errores estándar se agrupan por usuario. La variable dependiente se transforma de acuerdo con el seno hiperbólico inverso: $\ln(y + \sqrt{y^2 + 1})$. *** $p < 0.01$.

- La intensidad en el uso (cantidad o valor) \uparrow con la fracción de adoptantes en la red del usuario.

Evidencia de complementariedades estratégicas: despidos masivos



- Se sigue a los trabajadores antes y después de un episodio de despido masivo.
- De acuerdo con Flaaen, Shapiro & Sorkin (2019), un episodio de despido masivo es aquel donde una empresa con 50 o más trabajadores contrae su empleo en 30 % o más, y no recupera sus niveles anteriores de empleo en los siguientes 12 meses.
- Dos tipos de trabajadores: los que han adoptado o no Sinpe Móvil → permite analizar tanto el margen extensivo como intensivo.

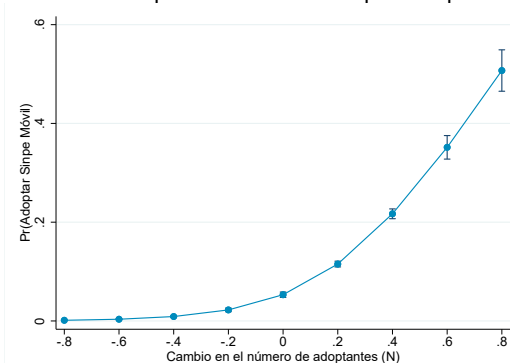
Flaaen, Aaron, Matthew D. Shapiro, & Isaac Sorkin. 2019. "Reconsidering the Consequences of Worker Displacements: Firm versus Worker Perspective." *American Economic Journal: Macroeconomics*, 11 (2): 193-227.

▶ [Detalle despidos masivos](#)

Evidencia de complementariedades estratégicas: despidos masivos

Margen extensivo → Trabajadores que no habían adoptado Sinpe Móvil al momento del despido.

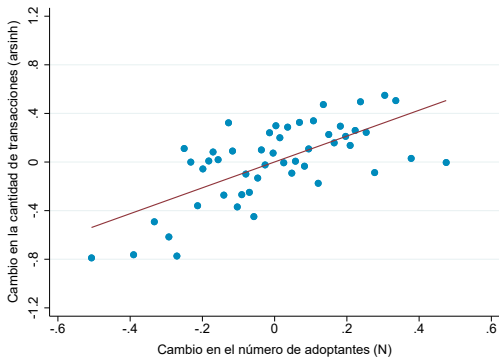
- Mediante un modelo logit se estima la probabilidad de adoptar Sinpe Móvil. [▶ Detalle modelo logit](#)



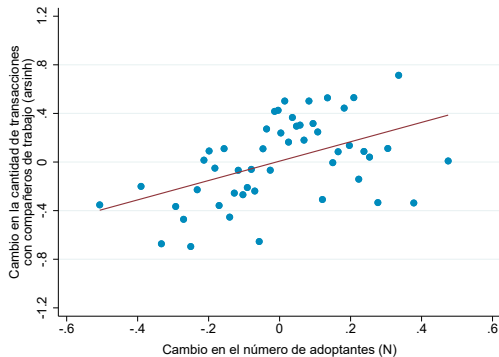
- Es más probable adoptar Sinpe Móvil al moverse a una firma donde la adopción de la tecnología es relativamente mayor.

Evidencia de complementariedades estratégicas: despidos masivos

Margen Intensivo → Trabajadores que ya habían adoptado Sinpe Móvil al momento del despido.



(a) Todas las transacciones.



(b) Transacciones con compañeros de trabajo.

- Efecto de los cambios de red en el uso (permite controlar canal de conocimiento sobre la plataforma).

▶ Detalle

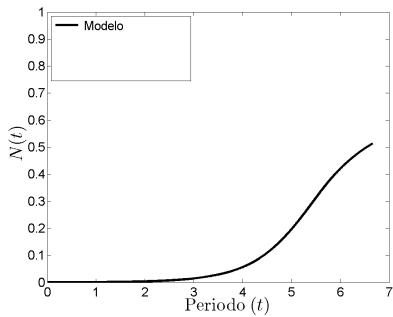
El modelo versus los datos

► Calibración

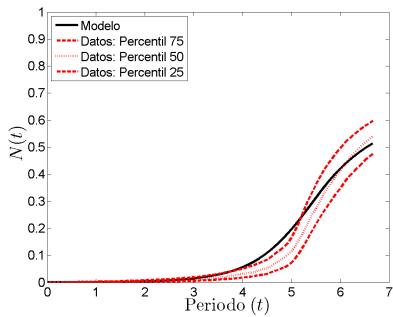
► Únicamente conocimiento sobre la plataforma

Jornadas virtuales de
**Investigación
Económica** 2022

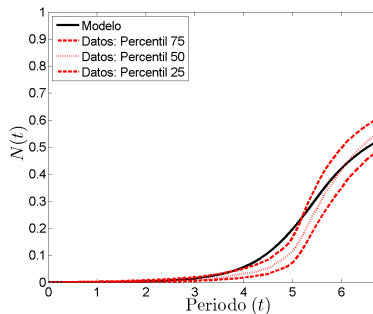
BC
UNIVERSIDAD
ECONOMÍA



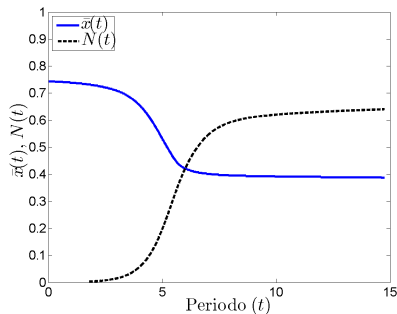
(a) Modelo versus los datos.



(a) Modelo versus los datos.



(a) Modelo versus los datos.



(b) Modelo: Largo plazo.

- El modelo replica los resultados empíricos.
- El sendero de $\bar{x}(t)$ muestra selección.
- Aprox. 65 % de la población adoptan en el vecindario medio en el estado de equilibrio.

Conclusiones

- Teoría: herramienta para estudiar complementariedades estratégicas en la adopción de tecnología:
 - Genera adopción lenta al esperar a que otros adopten.
- Datos: Información para todo el ciclo de vida de una tecnología:
 - Evidencia de efectos de red / complementariedades.
 - Evidencia de selección en la adopción.
 - Se calibra el modelo a partir de los datos.
- Implicaciones para implementar tecnologías de medios de pago, como las monedas digitales emitidas por bancos centrales.

¡Gracias!

mendezce@bccr.fi.cr

The background features a collage of financial data visualizations, including line graphs, bar charts, and pie charts, all rendered in shades of blue and purple. The BCCR logo is prominently displayed in a dark blue circle on the right side. The main title is centered in a large, bold, dark blue font.

Jornadas virtuales de
**Investigación
Económica** 2022

BCCR BANCO
CENTRAL DE
COSTA RICA

Complementariedades estratégicas en un modelo dinámico de adopción de Fintech

Autores:

Fernando Álvarez, David Argente, Francesco Lippi,
Esteban Méndez Chacón & Diana Van Patten Rivera

24 de noviembre, 2022

- x cambia de acuerdo a $dx = \sigma dW$ si $x \in (0, U)$, que se refleja en los límites del intervalo.
- x tiene distribución invariante $f(x) = 1/U$, uniforme en $[0, U]$.
- Los agentes deciden en qué periodo τ es óptimo adoptar:

$$\max_{\tau \geq t} \mathbb{E} \left[e^{-\rho(\tau-t)} (a(x(\tau), \tau; N) - c) \mid x(t) = x \right]$$

$$a(x, t; N) = \mathbb{E} \left[\int_t^\infty e^{-\rho(s-t)} x(s) (\theta_0 + \theta_n N(s)) ds \mid x(t) = x \right]$$

- Los agentes toman el sendero de $N(t)$ como dado.
- Se adopta en el momento t si $x \geq \bar{x}(t)$, define $\bar{x} = \mathcal{X}(N)$

- Dadas las elecciones de los agentes \bar{x} y la densidad inicial de los que no han adoptado m_0 :

$$N(t) = 1 - \int_0^U m_0(x) P(x, 0, t; \bar{x}) dx - \int_0^t \nu \int_0^U \frac{1}{U} P(x, s, t; \bar{x}) dx ds$$

$$P(x, s, t; \bar{x}) = \Pr [x(r) \leq \bar{x}(r), \text{ for all } r \in [s, t] \mid x(s) = x] e^{-\nu(t-s)}$$

- o Define un mapeo $N = \mathcal{N}(\bar{x})$

Optimización



- Valor de adoptar la tecnología:
- Sea $a(x, t)$ la función valor de un agente que ya adoptó la tecnología:

$$a(x, t) = \int_t^{\infty} e^{-\rho(s-t)} (\theta_0 + \theta_n N(s)) E[x(s) | x(t) = x] ds$$

para todo $t \geq 0$ y $x \in [0, U]$.

- Los agentes toman el sendero de $N(t)$ como dado.
- Sea τ el momento estocástico de la adopción. El momento óptimo de entrada óptimo es:

$$v(x, t) = \max_{\tau \geq t} \mathbb{E} \left[e^{-\rho(\tau-t)} (a(x(\tau), \tau) - c) \mid x(t) = x \right]$$

- La función valor para un agente que no ha adoptado la tecnología es:

$$\rho v(x, t) = \max \left\{ \frac{\sigma^2}{2} v_{xx}(x, t) + v_t(x, t), \rho(-c + a(x, t)) \right\}$$

para todo $t \geq 0$ y $x \in [0, U]$.

- Solución: $\bar{x} = \mathcal{X}(N)$

Agregación

- $m(x, t)$: densidad de los agentes con x que no han adoptado en el momento t .
- La ley de movimiento de m para todo $t \geq 0$ es:

$$m_t(x, t) = -\nu m(x, t) + \nu f(x) + \frac{\sigma^2}{2} m_{xx}(x, t)$$

- La fracción de los adoptantes $N(t)$ viene dada por:

$$N(t) = 1 - \int_0^{\bar{x}(t)} m(x, t) dx$$

Solución: $N = \mathcal{N}(\bar{x})$

Equilibrio

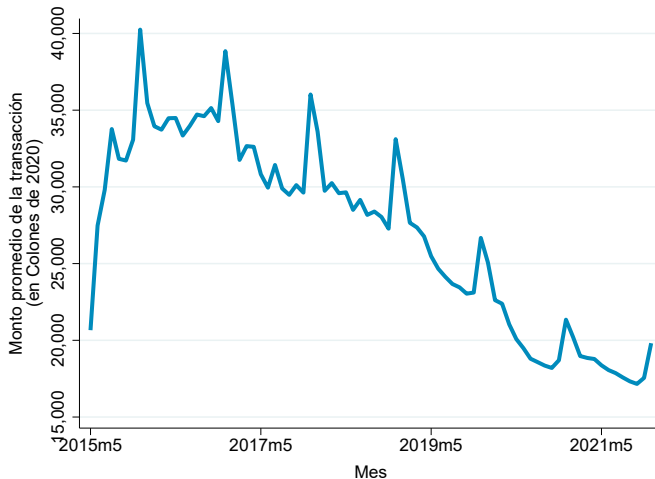
$$\{N(t)\} \xrightarrow[\bar{x} = \mathcal{X}(N)]{\text{Optimización}} \{\bar{x}(t)\}$$

$$\{\bar{x}(t)\} \xrightarrow[N = \mathcal{N}(\bar{x})]{\text{Agregación}} \{N(t)\}$$

Punto fijo

$$N^* = \mathcal{F}(N^*) \equiv \mathcal{N}(\mathcal{X}(N^*))$$

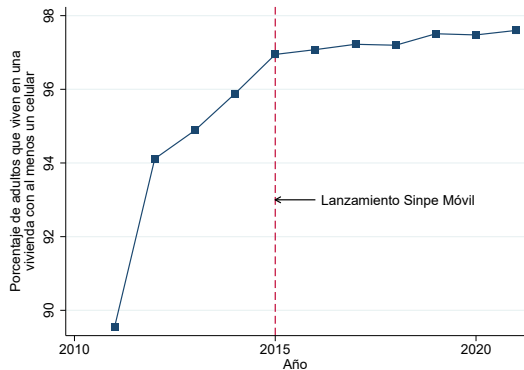
La tecnología se difundió lentamente



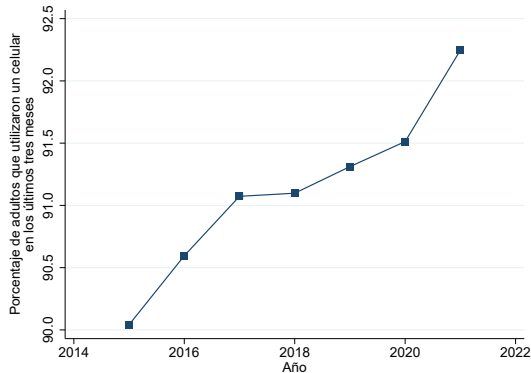
Monto promedio de la transacción (en Colones de 2020).

Tendencia de teléfonos celulares

- A partir de información de la Encuesta Nacional de Hogares del Instituto Nacional de Estadística y Censos.

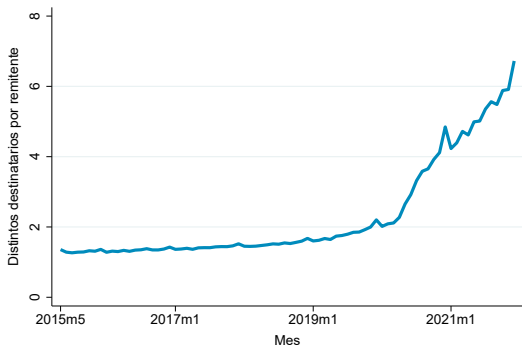


(a) Porcentaje de adultos que viven en una vivienda con al menos un celular.

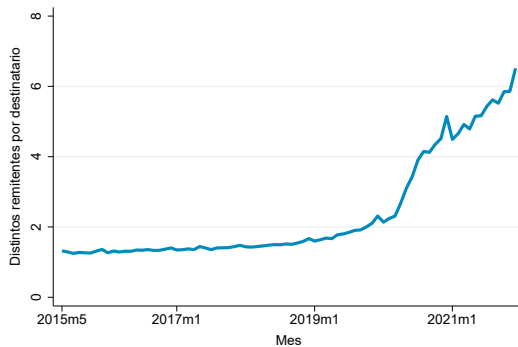


(b) Porcentaje de adultos que han utilizado un celular en los últimos tres meses.

Conexiones



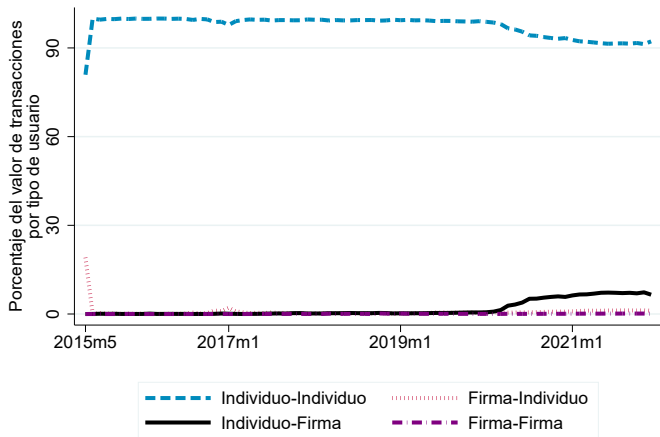
(a) Distintos destinatarios por remitente.



(b) Distintos remitentes por destinatario.

- Número histórico promedio de conexiones por usuario 48 (mediana 29).

La mayoría de las transacciones son entre personas físicas



Porcentaje del valor de las transacciones por tipo de usuario.

Los individuos pertenecen a alguna de las redes consideradas

Porcentaje de transacciones dentro de cada red
(valor de las transacciones)

	Vecinos	Compañeros de trabajo
Vecinos	56 %	
Compañeros de trabajo	68 %	50 %

$$\ln \xi_{it}^n = \gamma + \beta N_{i,entrada}^n + \lambda_t^n + \nu_{it}^n,$$

donde ξ_{it}^n son las transacciones del usuario i , en la red n , en el periodo t , λ_t^n , son efectos fijos por periodo y red, $N_{i,entrada}^n$ es la fracción de la red del usuario que había adoptado cuando el usuario ingresó.

	(1)	(2)
Tamaño de la red de vecinos al ingresar	-2.215*** (0.004)	
Tamaño de la red de compañeros de trabajo al ingresar		-1.098*** (0.004)
Observaciones	27,648,863	13,263,171
R^2 Ajustado	0.200	0.238

Notas: Todas las estimaciones controlan por el tamaño de la red. Los errores estándar se agrupan por usuario. La variable dependiente se transforma de acuerdo con el seno hiperbólico inverso: $\ln(y + \sqrt{y^2 + 1})$. *** $p < 0.01$.

Evidencia de complementariedades estratégicas

Variable dependiente: Δ Valor de las transacciones mensuales

	(1)	(2)	(3)
Δ Fracción adoptantes en el vecindario	2.084*** (0.104)		1.693*** (0.130)
Δ Fracción adoptantes en el trabajo		0.768*** (0.023)	0.763*** (0.023)
Observaciones	25,639,560	16,179,194	16,179,194
R ² Ajustado	0.027	0.035	0.035

Notas: Todas las estimaciones controlan por el tamaño de la red y efectos fijos de mes. Además, las columnas (2) y (3) controlan por salario. Los errores estándar se agrupan por usuario. La variable dependiente se transforma de acuerdo con el seno hiperbólico inverso: $\ln(y + \sqrt{y^2 + 1})$. *** $p < 0.01$.

Evidencia de complementariedades estratégicas

Variable dependiente: Δ Cantidad de transacciones mensuales

	(1)	(2)	(3)
Δ Fracción adoptantes en el vecindario	0.922*** (0.023)		0.918*** (0.028)
Δ Fracción adoptantes en el trabajo		0.155*** (0.005)	0.152*** (0.005)
Observaciones	24,025,266	15,255,278	15,255,278
R ² Ajustado	0.018	0.022	0.022

Notas: Todas las estimaciones controlan por el tamaño de la red y efectos fijos de mes. Además, las columnas (2) y (3) controlan por salario. Los errores estándar se agrupan por usuario. La variable dependiente se transforma de manera logarítmica. *** $p < 0.01$.

Evidencia de complementariedades estratégicas



- Se incluye como variable control el número de casos mensuales de COVID-19 a nivel de distrito, de acuerdo con el Ministerio de Salud.

Variable dependiente: Δ Cantidad de transacciones mensuales

	(1)	(2)	(3)
Δ Fracción adoptantes en el vecindario	1.322*** (0.025)		1.320*** (0.033)
Δ Fracción adoptantes en el trabajo		0.277*** (0.006)	0.273*** (0.006)
Δ ln COVID-19	-0.001** (0.000)	-0.002*** (0.000)	-0.001*** (0.000)
Observaciones	21,858,049	13,482,422	13,482,422
R ² Ajustado	0.018	0.023	0.023

Notas: Todas las estimaciones controlan por el tamaño de la red. Además, las columnas (2) y (3) controlan por salario. Los errores estándar se agrupan por usuario. La variable dependiente se transforma de acuerdo con el seno hiperbólico inverso: $\ln(y + \sqrt{y^2 + 1})$. ** $p < 0.05$ *** $p < 0.01$

Evidencia de complementariedades estratégicas: despidos masivos



Episodios de desempleo masivo: Estadísticas descriptivas

Número de firmas	595
Porcentaje de eventos que sucedieron antes de marzo de 2020 (pre-COVID-19)	65 %
Número de trabajadores despedidos que no habían adoptado Sinpe Móvil al momento del despido	22,249
Número de trabajadores despedidos que habían adoptado Sinpe Móvil al momento del despido	1,554
Número promedio de trabajadores de la firma	195 (SD = 704, Mediana = 85)
Mediana del salario, antes del despido, en Colones de 2020:	
• Para los trabajadores despedidos	320,488
• Para todos los trabajadores de las firmas involucradas	315,555

Evidencia de complementariedades estratégicas: despidos masivos



- Margen extensivo de adopción y cambios en la red de compañeros de trabajo después de un episodio de despido masivo, de acuerdo con un modelo logit.

Variable dependiente: Usuario de Sinpe Móvil (=1)

	(1)	(2)	(3)
$\Delta N_i^{\text{Compañeros de trabajo}}$	8.298*** (0.119)	5.088*** (0.147)	4.764*** (0.152)
$\Delta \ln \text{Salario}_i$		-0.004 (0.033)	-0.014 (0.034)
$\Delta \ln \text{COVID-19}$			0.113*** (0.016)
Observaciones	22,249	17,658	17,658
Pseudo R^2	0.495	0.515	0.518
Efectos fijos de tiempo	No	Sí	Sí

Notas: Los errores estándar se agrupan por usuario. *** $p < 0.01$

Evidencia de complementariedades estratégicas: despidos masivos

- Margen intensivo de adopción y cambios en la red de compañeros de trabajo después de un episodio de despido masivo.

Variable dependiente: Δ Cantidad de transacciones (Todas las transacciones)

	(1)	(2)	(3)	(4)
$\Delta N_i^{\text{Compañeros de trabajo}}$	2.460*** (0.153)	1.647*** (0.171)	1.087*** (0.180)	0.995*** (0.183)
$\Delta \ln \text{Salario}_i$		0.401*** (0.046)	0.349*** (0.044)	0.363*** (0.048)
$\Delta \ln \text{COVID-19}$			0.167*** (0.020)	0.155*** (0.023)
Observaciones	1,554	1,554	1,554	1,554
R^2 Ajustado	0.141	0.221	0.257	0.280
Efectos fijos de tiempo	No	Sí	Sí	Sí
Efectos fijos de cohorte	No	No	No	Sí

Notas: Todas las estimaciones controlan por el cambio en el tamaño de la red. Además, la columna (4) controla por el uso previo de la plataforma. Los errores estándar se agrupan por usuario. *** $p < 0.01$

Calibración del modelo

Tasa de salida de Sinpe Móvil	ν	0.03	Agentes que abandonaron Sinpe Móvil entre 2019-2021.
Factor de Descuento	r	0.050	Promedio Tasa de Política Monetaria del BCCR (2006-2021).
Complementaridades de red	$\tilde{\theta} \equiv \frac{\theta_n}{\theta_0}$	1.06	Margen intensivo de adopción.
Desviación estándar	$\tilde{\sigma} \equiv \frac{\sigma}{U}$	0.02	Cambio en las transacciones condicional en la red.
Costo de adopción	$\tilde{c} \equiv \frac{c}{U\theta_0}$	9	Fracción de personas que han adoptando al final del 2021.
Encuentros por unidad de tiempo	β_0	1.35	Fracción de agentes que sabían de Sinpe Móvil en el 2017.

- Se calibra al vecindario medio en los datos.
- Supuesto sobre el porcentaje de población que conocía Sinpe Móvil al inicio $I(0) = 0.001$

Extensión del modelo para permitir conocimiento sobre la plataforma



- Se incluye la presencia de fricciones en información.
- Se supone que la población está dividida entre agentes que conocen sobre la tecnología y los que no:

$$\underbrace{I(t)}_{\text{Conocen}} + \underbrace{S(t)}_{\text{No conocen}} = 1$$

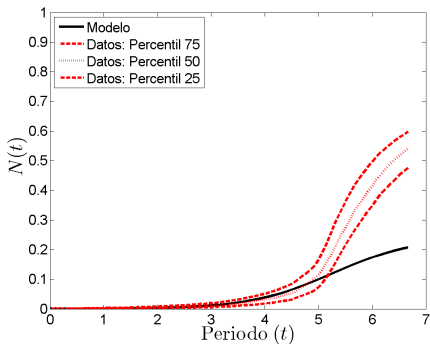
- A su vez, los que conocen la tecnología se dividen entre los que han adoptado y los que no:

$$\underbrace{I(t)}_{\text{Conocen}} = \underbrace{M(t)}_{\text{No adoptaron}} + \underbrace{N(t)}_{\text{Adoptaron}}$$

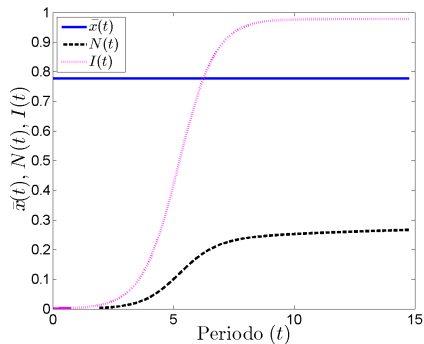
- En este caso, los agentes aleatoriamente se encuentran con personas que conocen sobre la tecnología, y deciden si adoptarla o no.

Extensión del modelo para permitir conocimiento sobre la plataforma

- Estimación del modelo únicamente a partir del conocimiento sobre la plataforma.



(a) El modelo versus los datos.



(b) Modelo: Largo plazo.