

Fernando González Vigil (editor)

27

DOCUMENTO
DE INVESTIGACIÓN

Economía aplicada

Ensayos de investigación económica 2022

Vivian Jimena Castañeda Rivas
Esteban Pierre Chabaneix Castillo
Daniela Chavarría Iglesias
Paloma Domenack Juscamaita
Mauricio Alberto González Campana
Gerardo Alberto Jiménez Jiménez
Gianfranco Jorge Quintanilla
Nicolás Pantoja Castañeda
Carlos Eduardo Peña Solsol
Wilbert André Pino Aguirre
Alicia Lucía Rego Urrunaga
Fátima Alicia Rohde Fornes
Santiago Matías Valencia Mauleon
Akemí Gabriela Yatto Grados

Con la colaboración de:
Karina Angeles Mendoza

Fondo
Editorial



UNIVERSIDAD
DEL PACÍFICO

Economía aplicada

Ensayos de Investigación Económica 2022

Vivian Jimena Castañeda Rivas
Esteban Pierre Chabaneix Castillo
Daniela Chavarría Iglesias
Paloma Domenack Juscamaita
Mauricio Alberto González Campana
Gerardo Alberto Jiménez Jiménez
Gianfranco Jorge Quintanilla
Nicolás Pantoja Castañeda
Carlos Eduardo Peña Solsol
Wilbert André Pino Aguirre
Alicia Lucía Rego Urrunaga
Fátima Alicia Rohde Forns
Santiago Matías Valencia Mauleon
Akemi Gabriela Yatto Grados

Con la colaboración de:
Karina Angeles Mendoza

Cambio en los incentivos de acumulación de capital humano: dinámica de crecimiento económico¹

Wilbert André Pino Aguirre
Akemi Gabriela Yatto Grados

1. Introducción

La presente investigación se enfoca en analizar el impacto de cambios en las preferencias de los individuos, respecto a su acumulación de capital humano, sobre el crecimiento económico de largo plazo. En particular, nuestra idea base consiste en que esos cambios fueron acelerados por las restricciones a la movilidad de personas adoptadas durante la pandemia, que generaron en los estudiantes una mayor inclinación a la acumulación de conocimientos a través de cursos *online*, aprovechando las ventajas de reducción de los costos asociados a esta educación y del desarrollo de la digitalización proveedora de múltiples plataformas que permiten acceder a capacitaciones certificadas.

Nuestro interés en el tema surge a partir de la creciente demanda por cursos en línea, incluso en el entorno pospandemia (McKenzie, 2021). Este cambio de preferencias se muestra como un fenómeno no transitorio, que requiere ser analizado en profundidad para lograr una mejor comprensión sobre cómo maximizar los beneficios de dicho cambio de preferencias y estimular el crecimiento económico a largo plazo.

¹ Este ensayo es una versión resumida y editada del Trabajo de Investigación Económica que, con el mismo título, fue concluido y aprobado en noviembre de 2022. Los autores agradecen al profesor Marco Ortiz Sosa por su valiosa asesoría durante la elaboración de dicho trabajo. También a los miembros del jurado, profesores Carlos Casas y Omar Manky, por las recomendaciones brindadas.

En este trabajo, abordamos ese tema en un plano teórico, sin recurrir a datos para estimaciones empíricas, sino planteando aplicaciones del modelo desarrollado por Ben-Porath (1967, 1970), al cual añadimos restricciones de costos incrementales en la acumulación de capital humano, tanto para clases virtuales como para clases presenciales y, seguidamente, incorporamos los resultados hallados al modelo básico de crecimiento endógeno de Lucas. De este modo, buscamos modelar las nuevas preferencias de acumulación de capital humano por parte de individuos, y plantear diversas situaciones a fin de obtener múltiples equilibrios que nos permitan intuir su comportamiento ante la imposición de costos en las restricciones.

En vista de que aún está en ciernes la exploración de la nueva tendencia de acumulación de conocimientos que ha propulsado la COVID-19, la metodología que planteamos aquí tiene un enfoque general, que puede experimentar variaciones si se incorporan supuestos específicos por países. Sin embargo, nuestras conclusiones permiten vislumbrar con mayor claridad algunas implicancias macroeconómicas en el largo plazo. Por ejemplo, con la acelerada digitalización y la drástica reducción de los costos asociados a la educación virtual, aumenta la posibilidad de tomar cursos ofertados por instituciones en otros países sin salir del país de origen, lo cual propiciaría la convergencia del capital humano entre países en el largo plazo.

2. Revisión de la literatura

A finales de 2019, el Gobierno de China informó de la propagación de un nuevo virus, el cual ya estaba presente para marzo de 2020 entre la población de Latinoamérica y otras regiones del mundo. Como señalan Padhan y Prabheesh (2021), la pandemia de COVID-19 tuvo graves consecuencias en la dinámica de la economía mundial. Los negativos efectos económicos afectaron a países desarrollados y en desarrollo, los cuales obligatoriamente frenaron las actividades productivas debido a la interrupción tanto de la cadena de suministros como de la inversión en vistas de la acrecentada incertidumbre. También se incrementaron los niveles de deuda externa para financiar el gasto necesario para hacer frente a la crisis sanitaria: adquisición de vacunas, refuerzo del material hospitalario, etc. Y, a nivel mundial, hubo una gran caída del comercio de bienes y servicios, así como masivas fugas de capitales.

Ante la virulencia del nuevo virus, los Gobiernos adoptaron drásticas medidas para contener los contagios y su letalidad. Entre las medidas más importantes destacan el uso obligatorio de mascarilla, el distanciamiento físico mínimo entre ciudadanos y la presencialidad únicamente para actividades labo-

rales de primera necesidad, mientras que las demás debían migrar a modalidad virtual. Todo lo cual produjo cambios profundos en diferentes ámbitos de la vida de las personas, y uno bastante importante en la educación. Por ello, un informe de la Cepal (2020) analiza la gran diversidad de consecuencias en la educación a nivel latinoamericano y plantea algunas recomendaciones al respecto, teniendo en cuenta el predecible empeoramiento de las brechas en educación e índices de pobreza, pobreza extrema, desigualdad, descontento social, etc.

A fin de continuar con el servicio educativo, los países de la región tomaron diferentes medidas, como el empleo de modalidades de enseñanza remota en línea y fuera de línea mediante plataformas virtuales de aprendizaje asincrónico, clases en vivo y programas educativos por radio o televisión. Pero la calidad de la educación así recibida disminuyó y los alumnos en sectores más vulnerables fueron más afectados, haciendo aún más necesaria la incorporación de criterios de inclusión y equidad en esas medidas, a fin de que dichos alumnos puedan migrar adecuadamente a la educación virtual.

Por otro lado, la migración a la educación *online* es dificultada por el alto nivel de analfabetismo digital existente en varios países. Sharma *et al.* (2018) argumentan que el confinamiento durante la COVID-19 resaltó dos brechas: la digital y la cognitiva; ya que, además del desigual acceso a recursos digitales en las regiones del país, también hay brechas en el conocimiento de los estudiantes sobre cómo usar adecuadamente esos recursos para potenciar su desempeño académico. La importancia de promover la inclusión digital es destacada por Evers (2010), quien afirma que las TIC reforman y reestructuran el contexto de aprendizaje y enseñanza de un modo que eleva la calidad de la educación, al facilitar la adquisición de conocimientos por parte de los estudiantes brindándoles acceso a una amplia gama de herramientas tecnológicas que potencian su aprendizaje, mejorando así el rendimiento académico y la formación profesional en diversas áreas. Lo cual resalta la importancia de las dotaciones de capital físico y digital como soportes de la calidad educativa y del desarrollo de capital humano.

La corriente teórica que incluye al capital humano dentro de la dinámica de la economía impulsó varios estudios que relacionan esta variable con otras variables clave para el crecimiento económico de largo plazo, tales como inversión y acumulación de capital físico. Mincer (1981) explica que la incorporación del capital humano en modelos de crecimiento económico significó la eliminación de dos supuestos básicos de los modelos tradicionales: la restricción de capital limitada al capital físico, y la homogeneidad del factor

trabajo. La consideración del capital humano como factor de producción es importante en dos niveles: a nivel macroeconómico, ya que el *stock* de capital humano y su tasa de crecimiento es central para el crecimiento y desarrollo de un país; y a nivel microeconómico, debido a que el entendimiento de las diferencias en el *stock* de capital humano entre las personas permite una mejor comprensión de los cambios y desigualdades en la distribución de ingresos. También es relevante considerar la endogeneidad existente entre crecimiento económico y capital humano, ya que este último es una condición y a la vez una consecuencia del primero. En efecto, ante aumentos en los niveles de capital humano, se incrementan el producto marginal del capital físico, la acumulación de este y la producción en la economía; lo cual mejora y amplía las oportunidades de inversión tanto en capital físico como en capital humano.

Similarmente, Schultz (1963) sostiene que el incremento sostenido del capital humano contribuye significativamente al crecimiento económico a través de una fuerza laboral más capacitada. Y una mayor tasa de crecimiento económico genera un aumento sostenido de la capacidad productiva, la empleabilidad y la acumulación de riqueza; lo que a su vez aumenta la productividad laboral.

Por su parte, Funke y Strulik (2000) enfatizan los efectos del capital humano sobre el crecimiento económico a través de las etapas de desarrollo de un país. Ellos consideran que el modelo de Uzawa-Lucas sirve para brindar una mejor explicación de los mecanismos de desarrollo al incorporar el capital humano, cuando el nivel de conocimiento es suficientemente alto. Mientras que, en las primeras etapas de desarrollo, si la acumulación de capital físico es complementada con mejoras del capital humano, se incrementa la efectividad de la acumulación de conocimiento por parte de los individuos, lo que fortalece grandemente el crecimiento de la renta per cápita, permitiendo una senda sostenible de acumulación de conocimientos a través de la educación y la formación continua, conforme se avanza hacia etapas superiores de desarrollo.

A partir del reconocimiento de la importancia de incorporar al capital humano en la dinámica de la economía, se fueron realizando estudios que permitieron explicar las decisiones de inversión de los individuos sobre su propio capital humano y capacidad para generar ingresos, a lo largo de su ciclo de vida. Yoram Ben-Porath aportó dos estudios muy importantes al respecto. En el primero (Ben-Porath, 1967) analiza, con un modelo en el que el individuo tiene un *stock* de tiempo limitado que puede invertir en trabajar o acumular más capital humano, sus respectivas decisiones de inversión, la correspondiente distribución de su tiempo, y cómo las ganancias que

percibe durante su ciclo de vida son afectadas por ciertas propiedades de la función de producción. Así, muestra que los individuos jóvenes invierten más tiempo en educarse, con la idea de percibir más ingresos producto de sus mejores capacidades durante una mayor cantidad de años; de modo que, en los primeros años del ciclo de vida, la inversión en capital humano es alta y los ingresos son relativamente bajos, mientras que, luego, dicha inversión disminuye y la retribución a las habilidades obtenidas es relativamente alta. También analiza cómo las mencionadas decisiones de inversión de los individuos pueden ser afectadas por la política pública, ya que esta impacta sobre los ingresos esperados a través de su influencia en tres precios de mercado: la tasa de interés, la retribución al capital humano, y los precios de otros insumos en la función de producción.

En su segundo estudio clave, Ben-Porath (1970) concibe un modelo más general para formular la dinámica de inversión en capital humano, cuyos crecientes costos marginales la van regulando a lo largo de la vida del individuo; y, adicionalmente, plantea el supuesto de neutralidad, según el cual, el capital humano es igual de productivo en ambas actividades: el trabajo, y la educación que lo potencia. Con base en ello, el citado autor explica cómo la trayectoria de inversión en capital humano del individuo es influida por la heterogeneidad de actividades en las que puede invertir para mejorar su capacidad de generar mayores ingresos, ya que esta capacidad es incrementada directamente por algunas actividades, mientras que otras actividades contribuyen con la producción del capital humano que en un futuro aumentará dicha capacidad. Esto se ve reflejado en las habilidades generales que los individuos adquieren en su educación básica, mientras que las habilidades especiales son provistas por capacitaciones más específicas y orientadas al mercado que se obtienen a un costo más alto.

Con base en ello, Hendricks (2013) aplica el modelo Ben-Porath con un enfoque empírico, para identificar los parámetros del modelo teniendo en cuenta el ciclo de vida del individuo, mediante dos aplicaciones que le permiten mostrar que la depreciación del capital humano es mayor de cero, y que esta no se elimina por completo hasta una edad muy cercana al retiro del campo laboral. Estos resultados cuestionan los de estudios anteriores, cuyos fuertes supuestos de nula depreciación de los retornos a la educación, debidos en parte al uso de datos sobre salarios cubriendo a un solo grupo etario, los llevaron a estimar la función de acumulación de capital humano con una curvatura y tasa promedio de crecimiento de los retornos que no describen correctamente la realidad.

Mientras que Griliches (1996), al cabo de examinar exhaustivamente los estudios que evalúan el impacto de la educación formativa de capital humano sobre el crecimiento económico inspirándose en las contribuciones de Ben-Porath, llega a dos conclusiones principales. En primer lugar, que el supuesto de neutralidad de Ben-Porath introduce un sesgo negativo en la estimación de dicho impacto. En cambio, se obtiene un impacto positivo si, en vez de aceptar tal supuesto, la estimación es formulada permitiendo que el capital humano sea más productivo cuando es acumulado mediante la inversión en educación formativa de mejores habilidades, que cuando está siendo utilizado a un nivel dado en una ocupación laboral. Y, segundo, que la trayectoria de la acumulación de capital humano tiene una forma cóncava logarítmica, debido a los costos de oportunidad crecientes de dicha inversión y al finito ciclo de vida del individuo.

Por último, cabe señalar la dificultad para especificar un indicador óptimo de capital humano que enfrentan los estudios enfocados en estimar empíricamente la contribución de este factor al desarrollo económico. La disponibilidad de datos explica que las especificaciones usuales del capital humano recurran al número promedio de años de escolaridad o, en su defecto, a la tasa bruta de matrícula en la escuela (tasa de alfabetización); y algunos investigadores utilizan otras variables *proxy*. Sin embargo, ese tipo de especificaciones complican las comparaciones entre países, ya que no permiten saber si los conocimientos adquiridos en un año de escolaridad en un país coinciden en nivel con los obtenidos en otro país durante un similar año de escolaridad. Por ello, Hanushek y Woessmann (2007) utilizan como indicadores de capital humano los resultados de las pruebas PISA y TIMSS, y destacan que el impacto positivo de la calidad de la educación es sustancialmente más significativo que el de la cantidad.

3. Marco analítico

Según los resultados de una encuesta realizada por Top Hat (2021), resumidos en los anexos 1 al 3, si bien los estudiantes siguen mostrando una preferencia por la educación presencial (54%) mayor que por la virtual u *online* (46%), esta diferencia no es grande, pues solo representa el 8% de los estudiantes encuestados (anexo 1). Las características de la educación virtual más atractivas para los estudiantes encuestados son la flexibilidad que brinda para poder asistir de manera híbrida, es decir, no presencial en su totalidad (59%); la facilidad de acceso al material educativo (84%), la posibilidad de revisar las clases grabadas (75%), entre otras (anexo 2). Y, respecto a las preferencias por formas de

aprendizaje pospandemia (anexo 3), un 46% de los estudiantes encuestados prefiere llevar algunos cursos de manera completamente *online* (porcentaje que coincide con el del aprendizaje *online* en el anexo 1); mientras que el 27% se declara indiferente. Sin embargo, los encuestadores consideran probable que esa indiferencia disminuya a favor de la educación *online*, conforme los beneficios de esta modalidad de aprendizaje vayan incrementándose a resultas de mejores tecnologías y docentes e instructores mejor capacitados en su uso.

A la luz de lo anterior y de las enseñanzas de la literatura especializada que hemos revisado, el presente trabajo busca contribuir al análisis de beneficios aún poco explorados de la educación *online* impulsada durante la pandemia de la COVID-19, a fin de promover un aprovechamiento de las nuevas tecnologías y preferencias asociadas a dicha modalidad de educación, que estimule el crecimiento económico.

Con tal fin, en este trabajo hacemos una aplicación del modelo Ben-Porath que consideramos novedosa, porque permite incorporar nuevas tendencias, reforzadas desde la pandemia de COVID-19, en las decisiones de inversión en capital humano de los individuos, que amplían la gama de posibilidades para dinamizar la capacitación de individuos, especialmente en economías donde la educación presencial es de baja calidad. Consideramos que la creciente preferencia por modalidades de educación y trabajo *online* no es un fenómeno transitorio, sino un cambio radical de efectos permanentes en el proceso de creación de capital humano. La virtualidad, que era vista como un escenario futurista en el tiempo prepandemia, fue adoptada plenamente durante la pandemia y las resultantes medidas de contención y prevención del virus, que obligaron a las personas a adaptarse y generar nuevas habilidades en un corto período de tiempo para poder continuar con sus estudios y/o labores. Estas nuevas habilidades adquiridas y el incesante desarrollo tecnológico hacen poco probable que la educación pospandemia vuelva a ser presencial al estilo tradicional, y hacen necesario que los modelos económicos tengan la capacidad de reflejar esta nueva realidad.

Las restricciones a la libre movilidad de personas impulsaron el desarrollo y/o uso de nuevas tecnologías para realizar actividades educativas y/o laborales por medios *online*, estableciéndose así una nueva cotidianeidad. La educación *online*, que en un inicio enfrentó cierto rechazo e inconformidad, goza de una mayor demanda en la actualidad. Según un estudio realizado por Global Market Insights (2022), el mercado mundial de *e-learning* llegó a valorizarse en US\$ 315 000 millones en 2021, y alcanzaría una valoración mayor de US\$ 1 trillón luego de una tasa de crecimiento promedio de un 20% durante el

período 2022-2028, siendo Asia-Pacífico la región y Alemania el país donde dicho crecimiento sería más rápido: del 27% y 22%, respectivamente.

Una explicación de la creciente demanda por la educación virtual radica en que sus nuevas plataformas facilitan el acceso de los estudiantes a la amplia gama de datos disponibles *online*, estructurando la información dispersa en internet en función de las necesidades del proceso de enseñanza-aprendizaje. A lo que se agrega el hecho de que algunas de estas plataformas pertenecen a universidades de gran prestigio, que certifican su idoneidad para el correcto aprendizaje de los estudiantes. Así, en respuesta al incremento de la demanda por educación por medios virtuales, esos y varios otros centros de estudios están incrementando su oferta académica de cursos y capacitaciones *online*, valiéndose del acelerado desarrollo de tecnologías que permiten diseñarlos e implementarlos cumpliendo estándares de calidad.

Sin embargo, aún no está claro hasta qué punto un mayor nivel de acumulación de capital humano a través de cursos en línea puede contribuir a un incremento del crecimiento económico en el largo plazo. Por ello, aquí nos planteamos la siguiente interrogante: ¿cuál es el impacto del cambio hacia la virtualidad en las preferencias de inversión en capital humano, sobre la dinámica de crecimiento de la economía?

En efecto, a raíz de la cuarentena obligatoria, que caracterizamos como una externalidad, las preferencias por el tipo de acumulación de capital humano fueron cambiando a favor de una sustitución, hasta cierto grado, de la educación presencial por la educación virtual, promovida por la disminución de los costos de adquirir conocimiento por medios virtuales. Esta reducción de costos abarca la mayor comodidad del ambiente al recibir las clases, los ahorros monetarios, de tiempo en transporte y de gastos extras como alimentación, útiles de escritorio y, en algunos casos, gastos de estadía. Pero es importante tener en cuenta que dicha sustitución no es total sino parcial, ya que el aprendizaje de ciertos cursos o habilidades requiere necesariamente de la práctica presencial. Por ello, aquí nos enfocamos en representar el cambio de preferencias referidas a cursos susceptibles de ser llevados por medios virtuales, de manera que el consiguiente ahorro de costos respecto a los ocasionados por la educación presencial permita un nivel de acumulación de capital humano más alto.

A fin de justificar el supuesto de que efectivamente la externalidad resultante de la COVID-19 generó un cambio en las preferencias en pro de la educación virtual, realizamos una comparación basada en algunas variables de interés que resalta dicho cambio, e indica así que, con tal supuesto, nuestro modelo puede proporcionar resultados consistentes con la realidad y, por ello,

pertinentes para vislumbrar cómo este *shock* afectaría el crecimiento económico en el largo plazo. Antes de proseguir, debemos precisar que el término «preferencias» alude tanto al interés de los individuos por el consumo de un bien respecto a otras alternativas, como a la necesidad de su consumo. Con dicho fin, entonces, utilizamos datos de la Enaho 2019 (prepandemia) y la Enaho 2021 (pospandemia), y procedimos a comparar las variables siguientes:

Respecto a las variables de características de la vivienda y del hogar, obtenidas con base en datos recopilados por la Enaho 2019 y 2021, en la tabla 1 se observa que, entre los años 2019 y 2021, se incrementaron el número promedio de hogares peruanos con conexión a internet, el número promedio de hogares peruanos que cuentan con equipos y servicios electrónicos, y el gasto mensual por consumo de internet de estos hogares. Todo lo cual muestra que internet se convirtió en un recurso más importante para los hogares peruanos durante el *shock* pandémico.

Tabla 1
Variables de características de la vivienda y del hogar, 2019 y 2021

Variable	2019			2021			Min.	Max.
	Obs.	Mean	Std. Dev.	Obs.	Mean	Std. Dev.		
Año	43 868	2019		43 524	2021			
Hogar	43 868	11.13486	1.421242	43 524	11.13234	1.407812	11	55
Estrato	43 868	4.366919	2.430524	43 524	4.167356	2.437383	1	8
El hogar tiene conexión a internet (sí: 1, no: 0)	34 565	0.3024157	0.459311	34 245	0.4541685	0.4979023	0	1
El hogar no tiene teléfono fijo, celular, TV cable, internet (sí: 0, no: 1)	34 565	0.0894547	0.285403	34 245	0.0657322	0.4979023	0	1
Último gasto mensual por consumo de internet (sí: 1, no: 0)	34 565	0.3024157	0.459311	34 245	0.4541685	0.4979023	0	1

Fuentes: INEI (2020, 2022). Elaboración propia, 2022.

Respecto a las variables de educación, también obtenidas de las fuentes de datos arriba mencionadas, la tabla 2 muestra que, entre los años 2019 y 2021, aumentó el nivel promedio de consumo de internet por parte de los hogares, sobre todo a través de tabletas u otros dispositivos muy portátiles. Y cabe resaltar que, en promedio, durante el *shock* pandémico, los hogares peruanos destinaron el uso de internet en mayor medida para fines de educación formal y actividades de capacitación; el cual es un hecho muy relevante para el presente estudio.

Tabla 2
Variables de educación (para personas de 3 años y más de edad), 2019 y 2021

Variable	2019			2021			Min.	Max.
	Obs.	Mean	Std. Dev.	Obs.	Mean	Std. Dev.		
Año	116 590	2019		109 867	2021			
Hogar	116 590	11.15773	1.495763	109 867	11.1477	1.457148	11	55
Estrato	116 590	4.326169	2.426143	64 288	4.182075	1.434199	1	8
En el mes anterior, ¿Ud. hizo uso del servicio de internet? (sí: 1, no: 2)	110 676	1.531154	0.4990307	64 288	1.361243	0.483632	1	2
En el mes anterior, ¿usó internet mediante una PC? (sí: 1, no: 0)	51 890	0.355001	0.4785182	66 782	0.1200024	0.3249668	0	1
En el mes anterior, ¿usó internet mediante una <i>laptop</i> ? (sí: 1, no: 0)	51 890	0.3708614	0.7773007	66 782	0.3180198	0.7313761	0	1
En el mes anterior, ¿usó internet mediante una <i>tablet</i> ? (sí: 1, no: 0)	51 890	0.1537869	0.9482025	66 782	0.2473421	1.1928252	0	1
En el mes anterior, ¿usó internet mediante otro dispositivo? (sí: 1, no: 0)	51 890	0.21746	1.214479	66 782	0.6435866	2.022613	0	1
¿Usó internet para educación formal y actividades de capacitación? (sí: 1, no: 2)	51 890	1.91613	0.277195	64 288	1.712886	0.4524189	1	2

Fuente: INEI (2020, 2022). Elaboración propia, 2022.

Los hechos estilizados mostrados en las tablas 1 y 2 indican entonces que los hogares peruanos han efectivamente demandado y utilizado el servicio de internet durante la pandemia en mayor medida que en el período prepandemia, y que el uso de internet para fines educativos también se ha incrementado. Queda así fácticamente justificado el supuesto sobre el cambio de preferencias hacia la educación virtual, contenido en el modelo de crecimiento económico presentado en la siguiente sección de este trabajo.

Según ese modelo, el mayor nivel de acumulación de capital humano a través de cursos virtuales impactará positivamente sobre la tendencia del crecimiento económico, permitiendo que se alcance un nuevo nivel de equilibrio por encima del equilibrio en caso no hubiese ocurrido el mencionado cambio de preferencias, resultante de la externalidad que representó el *shock* pandémico. Dicho impacto se sustenta en la antes citada literatura especializada, la cual explica tanto la causalidad en doble vía entre crecimiento económico y crecimiento del capital humano, como la asociada complementariedad del capital físico con el capital humano, ya que el aumento del *stock* de capital físico incrementa la productividad del capital humano y desemboca así en un efecto circular que produce un nivel más alto de la producción total de la economía. Y nuestro modelo también tiene en cuenta la nueva tendencia de inversión en capital físico sesgado al capital humano, explicada por dos motivos en particular: la creación de una mayor oferta de cursos virtuales a raíz del aumento de la demanda de estos, y los mayores incentivos a la inversión en capital físico relacionado con la innovación y tecnología. Así, una gran variedad de cursos recientemente ofrecidos de manera virtual está no solo cumpliendo con su función educativa específica, sino también propiciando la mejora de habilidades que contribuyen a un mayor desarrollo tecnológico capaz de situarnos en una nueva senda de crecimiento sostenido, mediante el impacto positivo de la tecnología e innovación de mayor nivel sobre la productividad total de factores.

4. Metodología

El presente trabajo aborda la pregunta de investigación planteada previamente haciendo uso, en primer lugar, del modelo teórico de Ben-Porath para proponer escenarios de acumulación de capital humano a través de clases presenciales y de clases virtuales, que facilitan la comparación entre ambas modalidades de educación. Y, en segundo lugar, del modelo básico de Lucas a fin de apreciar las diferencias entre dichas modalidades respecto a la dinámica de crecimiento económico.

4.1 Modelo teórico

El modelo Ben-Porath considera las decisiones de inversión en capital humano, así como las decisiones de oferta laboral a lo largo del ciclo de vida de los individuos (Acemoglu, 2009). Para ello, formula la siguiente ecuación de acumulación de capital humano:

$$\dot{h} = \phi(s(t)h(t)) - \delta_h h(t)$$

Donde $(s(t)h(t))$ es la fracción de tiempo invertido en producir capital humano o inversión en capital humano; ϕ es una función estrictamente creciente, estrictamente cóncava y continuamente diferenciable; δ_h se supone mayor de 0 y representa la tasa de depreciación del capital humano.

También establece una función de utilidad en tiempo continuo que tiene la siguiente forma:

$$\int_0^{\infty} e^{-(r+v)t} (1 - s(t)) h(t) dt$$

Y, a partir de esas dos funciones anteriores, se construye el hamiltoniano:

$$H = (1 - s(t))h(t) + \mu(t)(\phi(s(t)h(t)) - \delta_h h(t))$$

Resolver el modelo así planteado permite determinar una senda que explica las decisiones de inversión en capital humano a lo largo de la vida del individuo; la cual tiene una forma cóncava, ya que, a una edad temprana, la acumulación de capital humano se da de manera creciente a través de la escolaridad a tiempo completo, mientras que, con los años, el tiempo del individuo se distribuye entre educación y trabajo. En tal sentido, la importancia del modelo Ben-Porath radica en dos aportes principales: en primer lugar, explica que la escolaridad no es la única forma de inversión en capital humano por parte de los individuos, ya que después del tiempo de escolaridad pueden optar por estudios universitarios o técnicos y/o por capacitaciones especializadas en el campo laboral; y, en segundo lugar, sugiere que en las sociedades donde las inversiones en escolaridad son mayores, se esperaría un mayor nivel de inversión posterior, en educación enfocada al mercado.

A partir de las funciones arriba planteadas, se desarrollan las siguientes condiciones de optimalidad:

$$H_s = -h(t) + \mu(t)\phi'(s(t)h(t))h(t) = 0$$

$$H_h = (1 - s(t)) + \mu(t)[\phi'(s(t)h(t))s(t) - \delta_h] = (r + v)\mu(t) - \dot{\mu}(t)$$

$$e^{-(r+v)t}\mu(t)h(t) = 0$$

Y la siguiente transformación de variables de inversión en capital humano:
 $x(t) = s(t)h(t)$.

(I) Reemplazando en la primera condición de optimalidad:

$$-h(t)[1 - \mu(t)\phi'(x(t))] = 0 \quad \mu(t) = \frac{1}{\phi'(x(t))}$$

(II) Reemplazando en la segunda condición de optimalidad:

$$(1 - s(t)) + \mu(t)[\phi'(x(t))s(t) - \delta_h] = (r + v)\mu(t) - \dot{\mu}(t)$$

$$\frac{\dot{\mu}(t)}{\mu(t)} = r + v + \delta_h - \phi'(x(t))$$

Reemplazando $\dot{\mu}(t) = 0$ en la ecuación (II), obtenemos el siguiente punto óptimo para x :

$$r + v + \delta_h = \phi'(x(t)) \quad x^* = \phi'^{-1}(r + v + \delta_h)$$

Por otro lado, igualando $\dot{h} = 0$ y reemplazando x^* , hallamos el h óptimo:

$$\phi(x(t)) - \delta_h h(t) = 0$$

$$h^* = \frac{\phi(x^*)}{\delta_h}$$

$$h^* = \frac{\phi(\phi'^{-1}(r + v + \delta_h))}{\delta_h}$$

De (I):

$$1 = \mu(t)\phi'(x(t))$$

$$0 = \frac{\dot{\mu}}{\mu} + \frac{\phi''(x)}{\phi'(x)} \frac{\dot{x}(t)}{x(t)} x$$

$$\frac{\dot{\mu}}{\mu} = -x \frac{\phi''(x)}{\phi'(x)} \frac{\dot{x}(t)}{x(t)}$$

$$(III) \frac{\dot{\mu}}{\mu} = \varepsilon_{\phi'}(x) \frac{\dot{x}(t)}{x(t)}$$

Sabiendo que: $\varepsilon_{\phi'}(x) = \frac{-x\phi''(x)}{\phi'(x)} > 0$

$$(II) = (III)$$

$$\varepsilon_{\phi'}(x) \frac{\dot{x}(t)}{x(t)} = r + v + \delta_h - \phi'(x(t)) \quad \frac{\dot{x}(t)}{x(t)} = \frac{1}{\varepsilon_{\phi'}(x)} [r + v + \delta_h - \phi'(x(t))]$$

Para graficar:

$$\dot{x}(t) = 0 \quad x(t) = \phi'^{-1}(r + v + \delta_h)$$

$$\dot{h} = 0$$

$$h(t) = \frac{\phi(x(t))}{\delta_h}$$

A fin de modelar las nuevas preferencias de acumulación de capital humano de los individuos, incorporamos distintas restricciones al modelo convencional de Ben-Porath, para representar los costos incrementales de la educación virtual y los de la educación presencial, que afectarán de distintas maneras el nivel de acumulación de capital humano porque se realizarán con diferentes aplicaciones en el mismo modelo. Y mediante el desarrollo y el gráfico del modelo implementado, mostraremos que el ahorro en costos con educación virtual se ve reflejado en un mayor nivel de capital humano acumulado, y esto permitirá encontrar un nuevo equilibrio para la dinámica de largo plazo del crecimiento económico.

4.2 Costos de aprendizaje y nivel de acumulación de capital humano

Partiendo de la existencia de los modos virtual y presencial de acumulación de capital humano, modelamos el impacto de los costos incrementales de un modo respecto al otro sobre las respectivas decisiones de inversión en capital humano; de tal forma que el individuo representativo de la economía preferirá

invertir en el modo que, a un menor costo, le permita alcanzar el mismo o un mayor nivel de capital humano. El término «costos incrementales» se refiere, exclusivamente, a la diferencia entre los costos generados por un modo y los del otro; es decir, no incluye los costos comunes a ambos modos de aprendizaje o acumulación de capital humano.

Para poder desarrollar las respectivas aplicaciones al modelo y comparar sus resultados, es necesario establecer ciertos supuestos, como los siguientes:

Primero: El individuo representativo maximiza conocimiento; es decir, se asume que el nivel de acumulación de capital humano efectivamente representa el interés que tiene el individuo por aprender y obtener conocimientos.

Segundo: El tiempo adicional es empleado por el individuo para adquirir un mayor nivel de conocimientos. El modelo de clases virtuales presenta un ahorro en el tiempo disponible para el individuo, en comparación con el modelo de clases presenciales. Si bien este tiempo adicional podría ser empleado por los individuos en diversas actividades, se asume que el individuo representativo destinará su tiempo disponible para seguir incrementando sus conocimientos, y que con tal fin tiene la opción de educarse mediante el modo virtual o el presencial yendo al centro de estudios para hacerlo.

Tercero: El desarrollo del modelo y sus aplicaciones se aplican netamente a los países en los que se impuso la cuarentena obligatoria debido a la pandemia de la COVID-19 y que, por tanto, se vieron obligados a mudarse a la virtualidad.

4.2.1 Clases virtuales

El individuo busca optimizar su capital humano intertemporal, derivado del siguiente problema de maximización:

$$\max \int_0^{\infty} e^{-(r+v)t} (1 - s(t)) h(t) dt \quad \text{s.a.} \quad \dot{h} = \phi(s(t)h(t), \kappa) - \delta_h h(t)$$

Donde $\kappa \in [0,1]$ representa todas aquellas penalidades que surgen a partir de la educación virtual. Así, es importante recalcar que, debido a esta restricción, entre mayor sea κ tendiendo a 1, más cercano será el nivel de producción de capital humano al presencial (x^*); mientras que, mientras menor sea κ tendiendo a 0, más se distanciará el nivel de producción de capital humano al

del presencial. Por lo tanto, mientras mayor sea la penalidad que se considere, menor será el valor de κ , y lo inverso también es cierto.

Entre las penalidades en la educación virtual, destacamos la falta de atención de los estudiantes, ya que, al encontrarse en ambientes que no son el salón de clases, tienen muchos más distractores. Además, los estudiantes no se encuentran supervisados por alguien, por lo que no sienten una presión cognitiva de estar completamente enfocados en el aprendizaje. También debe mencionarse el *multitasking* no productivo; esto es, el desarrollo de diversas actividades a la vez, que puede desembocar en no completar ninguna actividad o desarrollarlas de manera ineficiente. Por último, cabe destacar los aspectos éticos que intervienen, como pueden ser los plagios o el pago a terceros para la resolución de exámenes; lo cual genera una calificación (o nota) sesgada que sobrestima los conocimientos del estudiante.

Subsecuentemente, planteamos el hamiltoniano a valor corriente:

$$H = (1 - s(t))h(t) + \mu(t)(\phi(s(t)h(t).\kappa) - \delta_h h(t));$$

las respectivas condiciones de optimalidad:

$$H_s = -h(t) + \mu(t)\phi'(s(t)h(t).\kappa)h(t).\kappa = 0$$

$$H_t = (1 - s(t)) + \mu(t)[\phi'(s(t)h(t).\kappa)s(t).\kappa - \delta_h] = (r + v)\mu(t) - \dot{\mu}(t)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-(r+v)t}\mu(t)h(t) = 0;$$

y planteamos la siguiente transformación de variables de inversión en capital humano: $x(t) = s(t)h(t)$.

(I) Reemplazando en la primera condición de optimalidad:

$$-h(t)[1 - \mu(t)\phi'(x(t).\kappa).\kappa] = 0$$

$$\mu(t) = \frac{1}{\phi'(x(t).\kappa).\kappa}$$

(II) Reemplazando en la segunda condición de optimalidad:

$$(1 - s(t)) + \mu(t)[\phi'(x(t).\kappa)s(t).\kappa - \delta_h] = (r + v)\mu(t) - \dot{\mu}(t)$$

$$\frac{\dot{\mu}(t)}{\mu(t)} = r + v + \delta_h - \phi'(x(t), \kappa) \cdot \kappa$$

Reemplazando $\dot{\mu}(t) = 0$ en la ecuación (II), obtenemos el siguiente punto óptimo para x :

$$r + v + \delta_h = \phi'(x(t), \kappa) \cdot \kappa$$

$$x^* = \frac{\phi'^{-1}\left(\frac{r + v + \delta_h}{\kappa}\right)}{\kappa}$$

De ello se observa que, mientras mayores sean las penalidades asociadas a la educación virtual, menor será el valor de κ , por lo tanto, aumenta el término dentro de la función ϕ'^{-1} y, siendo esta estrictamente decreciente, ocurre que disminuye el x^* del individuo. Un efecto contrario en x^* ocurre para el caso del término del denominador: cuando cae el valor de κ , el nivel de x^* del individuo aumenta. Resulta así que son contrapuestos los efectos de la implementación de costos para la educación virtual en el nivel de x^* del individuo y, por tanto, el efecto neto dependerá de la forma que tome la función ϕ'^{-1} , y consecuentemente, del peso que tome cada término de α en la forma de x^* . Esto se debe a que, en un primer momento, la producción de capital humano por tiempo efectivo empleado es menos rentable, de modo que disminuye el stock de h ; sin embargo, este efecto también genera que cada hora adicional empleada por el individuo para acumular capital humano sea más productiva, pues, al tener un menor nivel inicial de conocimientos, los conocimientos adicionales son más productivos.

Por otro lado, igualando $\dot{h} = 0$ y reemplazando x^* , hallamos el h óptimo:

$$\phi(x(t), \kappa) - \delta_h h(t) = 0$$

$$h^* = \frac{\phi(x^*, \kappa)}{\delta_h}$$

$$h^* = \frac{\phi\left(\phi'^{-1}\left(\frac{r + v + \delta_h}{\kappa}\right)\right)}{\delta_h}$$

En este caso, el costo asociado a la educación virtual solo se presenta una vez y es netamente negativo su efecto en el nivel de capital humano acumulado: h^* .

4.2.2 Clases presenciales

Los costos al respecto pueden tomar dos formas:

Primera: costos que impactan en el presupuesto monetario de los individuos; esto es, la adquisición de material educativo y gastos adicionales que le permitan educarse óptimamente.

Segunda: costos asociados al tiempo dedicado a movilizarse de un lugar a otro. A nuestra modelación al respecto contribuye la simplificación sobre los niveles de educación a lo largo de la vida del individuo en el modelo Ben-Porath. Estos niveles son dos: escolaridad completa y educación a la par del trabajo; de modo que el impacto de los costos de tiempo dependerá del nivel en que se encuentra el individuo, ya que los costos de tiempo son mayores cuando el individuo se moviliza entre el centro educativo y el trabajo que cuando solo se dedica a estudiar.

Dado lo anterior, planteamos tres casos: un impacto netamente referido al tiempo de transporte, un impacto únicamente monetario, y un escenario donde puedan observarse ambos impactos. De este modo, el modelar los costos de formas distintas nos permitirá intuir las diversas reacciones de los individuos dependiendo de la forma en la que se les presenten los impactos negativos.

4.2.3 Costos de tiempo

El individuo representativo busca optimizar su capital humano intertemporal derivado del siguiente problema de maximización:

$$\int_0^{\infty} e^{-(r+v)t} (1 - s(t) - g) h(t) dt \quad \text{s.a.} \quad \dot{h} = \phi(s(t)h(t)) - \delta_h h(t) - g \cdot h(t)$$

Donde $g \in [0,1]$ representa el tiempo adicional que se requiere para acumular conocimiento con educación presencial. Como se puede observar, en estas ecuaciones se introducen los costos con respecto al tiempo. Por el lado de la función de maximización, el costo funge como una disminución al tiempo total del que dispone el individuo para trabajar. En cuanto a la función de acumulación de capital humano, el costo representa una penalidad a la acumulación de capital humano a medida que el individuo adquiere un mayor nivel de conocimientos.

Luego, planteamos el hamiltoniano a valor corriente:

$$H = (1 - s(t) - g)h(t) + (t)\left(\phi(s(t)h(t)) - \delta_h h(t) - g \cdot h(t)\right);$$

las respectivas condiciones de optimalidad:

$$H_s = -h(t) + \mu(t)\phi'(s(t)h(t))h(t) = 0$$

$$H_h = (1 - s(t) - g) + \mu(t)[\phi'(s(t)h(t))s(t) - \delta_h - g] = (r + v)\mu(t) - \dot{\mu}(t)$$

$$e^{-(r+v)t}\mu(t)h(t) = 0;$$

y la siguiente transformación de variables de inversión en capital humano:

$$x(t) = s(t)h(t).$$

(I) Reemplazando en la primera condición de optimalidad:

$$-h(t)[1 - \mu(t)\phi'(x(t))] = 0 \quad \mu(t) = \frac{1}{\phi'(x(t))}$$

(II) Reemplazando en la segunda condición de optimalidad:

$$(1 - s(t) - g) + \mu(t)[\phi'(x(t))s(t) - \delta_h - g] = (r + v)\mu(t) - \dot{\mu}(t)$$

$$\frac{\dot{\mu}(t)}{\mu(t)} = r + v + \delta_h + g - (1 - c)\phi'(x(t))$$

Reemplazando $\dot{\mu}(t) = 0$ en la ecuación (II), obtenemos el siguiente punto óptimo para x :

$$r + v + \delta_h + g = (1 - g)\phi'(x(t))$$

$$x^* = \phi'^{-1}\left(\frac{r + v + \delta_h + g}{1 - g}\right)$$

Como podemos observar, esta implementación de costos impacta con signo positivo el valor final dentro de la función ϕ'^{-1} ; lo cual, siendo ϕ'^{-1} estrictamente decreciente, conlleva una disminución del x^* del individuo.

Por otro lado, igualando $\dot{h} = 0$ y reemplazando x^* , hallamos el h óptimo:

$$\phi(x(t)) - (\delta_h + g)h(t) = 0$$

$$h^* = \frac{\phi(x^*)}{\delta_h + g}$$

$$h^* = \frac{\phi\left(\phi'^{-1}\left(\frac{r + v + \delta_h + g}{1 - g}\right)\right)}{\delta_h + g}$$

De modo que este costo también disminuye el h^* del individuo. Así, estas ecuaciones permiten inferir que las situaciones que permitan reducir esa penalidad influyen positivamente en que el individuo logre una mayor combinación de $s(t)h(t)$ y, por ende, su nivel de acumulación de capital humano intertemporal se incrementa.

4.2.4 Costos monetarios

Similarmente a los casos anteriores, el individuo busca optimizar su capital humano intertemporal derivado del siguiente problema de maximización:

$$\int_0^{\infty} e^{-(r+v)t} (1 - s(t))h(t) - m.s(t)h(t) dt$$

$$s.a. \quad \dot{h} = \phi(s(t)h(t)) - \delta_h h(t)$$

Donde $m > 0 \wedge (1 - s(t))h(t) \geq m.s(t)h(t)$ para todo $t > 0$. En este caso, el costo monetario (m) solo afecta la función de maximización del individuo, significando un egreso adicional en su presupuesto.

Luego, se plantean el hamiltoniano a valor corriente:

$$H = (1 - s(t))h(t) - m.s(t)h(t) + \mu(t)(\phi(s(t)h(t)) - \delta_h h(t));$$

las respectivas condiciones de optimalidad:

$$H_s = -h(t) - m.h(t) + \mu(t)\phi'(s(t)h(t))h(t) = 0$$

$$H_h = (1 - s(t)) - m.s(t) + \mu(t)[\phi'(s(t)h(t))s(t) - \delta_h] = (r + v)\mu(t) - \dot{\mu}(t)$$

$$e^{-(r+v)t}\mu(t)h(t) = 0;$$

y la siguiente transformación de variables de inversión en capital humano:
 $x(t) = s(t)h(t)$.

(I) Reemplazando en la primera condición de optimalidad:

$$-h(t)[1 + k - \mu(t)\phi'(x(t))] = 0 \quad \mu(t) = \frac{1 + k}{\phi'(x(t))}$$

(II) Reemplazando en la segunda condición de optimalidad:

$$1 - s(t) - m.s(t) + \mu(t)[\phi'(x(t))s(t) - \delta_h] = (r + v)\mu(t) - \dot{\mu}(t)$$

$$\frac{\dot{\mu}(t)}{\mu(t)} = r + v + \delta_h - \frac{\phi'(x(t))}{1 + m}$$

Reemplazando $\dot{\mu}(t) = 0$ en la ecuación (II), obtenemos el siguiente punto óptimo para x :

$$r + v + \delta_h = \frac{\phi'(x(t))}{1 + m} \quad x^* = \phi'^{-1}((1 + m)(r + v + \delta_h))$$

En este caso, también se observa que la implementación de estos costos impacta positivamente en el valor final dentro de la función ϕ'^{-1} , lo cual, siendo ϕ'^{-1} estrictamente decreciente, conlleva una disminución del x^* del individuo.

Por otro lado, igualando $\dot{h} = 0$ y reemplazando x^* , hallamos el h óptimo:

$$\phi(x(t)) - \delta_h h(t) = 0$$

$$h^* = \frac{\phi'(x^*)}{\delta_h}$$

$$h^* = \frac{\phi[\phi'^{-1}((1 + m)(r + v + \delta_h))]}{\delta_h}$$

De modo que este costo también disminuye el h^* del individuo. Pero, en este caso, los niveles óptimos de x y h se ven limitados por la necesidad de que los individuos deben cubrir los costos incrementales asociados a educarse.

4.2.5 Costos de tiempo y monetarios

Por último, en este tercer caso, el individuo busca optimizar su capital humano intertemporal derivado del siguiente problema de maximización:

$$\int_0^{\infty} e^{-(r+v)t} (1 - s(t) - g) h(t) - m.s(t)h(t) dt$$

$$s.a. \quad \dot{h} = \phi(s(t)h(t)) - \delta_h h(t) - g.h(t)$$

Esta vez, se incorporan ambos tipos de costos con sus respectivas restricciones:

$$H = (1 - s(t) - g)h(t) - m.s(t)h(t) + (t)(\phi(s(t)h(t)) - \delta_h h(t) - g.h(t));$$

las condiciones de optimalidad:

$$H_s = -h(t) - m.h(t) + \mu(t)\phi'(s(t)h(t))h(t) = 0$$

$$\begin{aligned} H_h &= (1 - s(t) - g) - m.s(t) + \mu(t)[\phi'(s(t)h(t))s(t) - \delta_h - g] \\ &= (r + v)\mu(t) - \dot{\mu}(t) \end{aligned}$$

$$e^{-(r+v)t}\mu(t)h(t) = 0;$$

y la siguiente transformación de variables de inversión en capital humano:
 $x(t) = s(t)h(t)$.

(I) Reemplazando en la primera condición de optimalidad:

$$-h(t)[1 + m - \mu(t)\phi'(x(t))] = 0 \quad \mu(t) = \frac{1 + m}{\phi'(x(t))}$$

(II) Reemplazando en la segunda condición de optimalidad:

$$1 - s(t) - g - m.s(t) + \mu(t)[\phi'(x(t))s(t) - \delta_h - g] = (r + v)\mu(t) - \dot{\mu}(t)$$

$$\frac{\dot{\mu}(t)}{\mu(t)} = r + v + \delta_h + g - \frac{(1 - g)\phi'(x(t))}{1 + m}$$

Reemplazando $\dot{\mu}(t) = 0$ en la ecuación (II), obtenemos el siguiente punto óptimo para x :

$$r + v + \delta_h + g = \frac{(1-g)\phi'(x(t))}{1+m}$$

$$x^* = \phi'^{-1}\left(\frac{1+m}{1-g}(r + v + \delta_h + g)\right)$$

Por otro lado, igualando $\dot{h} = 0$ y reemplazando x^* , hallamos el h óptimo:

$$\phi(x(t)) - (\delta_h + c)h(t) = 0$$

$$h^* = \frac{\phi'(x^*)}{\delta_h + g}$$

$$h^* = \frac{\phi[\phi'^{-1}\left(\frac{1+m}{1-g}(r + v + \delta_h + g)\right)]}{\delta_h + g}$$

En este caso, el nivel de capital humano acumulado se ve afectado negativamente por ambos tipos de costos en conjunto, por lo que cae en mayor medida a comparación de cuando se toma un solo tipo de costos.

5. Análisis de resultados

5.1 Inversión en capital humano

Se procede a definir las sendas temporales de la inversión en capital humano (x) y del capital humano acumulado (h) para los modelos presentados previamente, y a representarlas gráficamente a fin de mostrar cómo los costos incrementales cambian el punto óptimo de capital humano.

5.1.1 Educación virtual

De (II) = (III)

$$\varepsilon_{\phi'}(x,\kappa) \cdot \kappa \frac{\dot{x}(t)}{x(t)} = r + v + \delta_h - \phi'(x(t)) \cdot \kappa$$

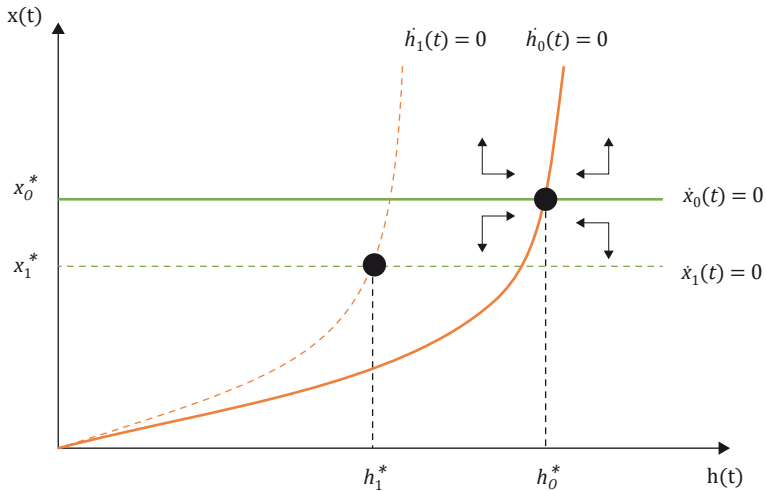
$$\frac{\dot{x}(t)}{x(t)} = \frac{\kappa}{\varepsilon_{\phi'}(x,\kappa)} [r + v + \delta_h - \phi'(x(t)) \cdot \kappa]$$

Para graficar:

$$\dot{x}(t) = 0 \quad x(t) = \frac{\phi'^{-1}\left(\frac{r + v + \delta_h}{\kappa}\right)}{\kappa}$$

$$\dot{h} = 0 \quad h(t) = \frac{\phi(x(t) \cdot \kappa)}{\delta_h}$$

Figura 1
Diagrama de fases con penalidades en la educación virtual



Elaboración propia, 2022.

En la figura 1, se observa que los costos relacionados con la educación virtual ocasionan que ambas sendas se contraigan y, en consecuencia, se alcance un menor nivel tanto de x^* como de h^* . En este caso, debido a los efectos contrapuestos que genera α en la senda de x , esta se contraerá en mayor o menor medida dependiendo del peso de cada efecto. No obstante, la mayor caída del nivel de acumulación de capital humano se refleja a través de la contracción de la senda de h .

5.1.2 Educación presencial

Con respecto al primer modelo: *Costos de tiempo*

De (II) = (III)

$$\varepsilon_{\phi'}(x) \frac{\dot{x}(t)}{x(t)} = r + v + \delta_h + g - (1 - g)\phi'(x(t))$$

$$\frac{\dot{x}(t)}{x(t)} = \frac{1}{\varepsilon_{\phi'}(x)} [r + v + \delta_h + g - (1 - g)\phi'(x(t))]$$

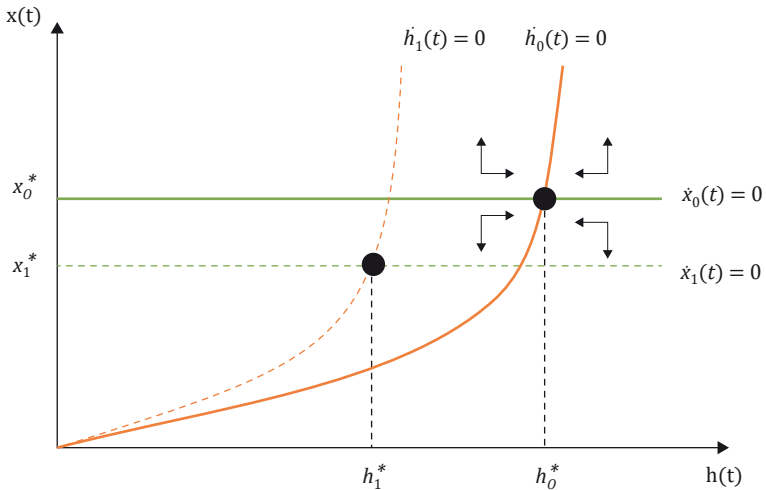
Para graficar:

$$\dot{x}(t) = 0 \qquad x(t) = \phi'^{-1}\left(\frac{r + v + \delta_h + g}{1 - g}\right)$$

$$\dot{h} = 0 \qquad h(t) = \frac{\phi(x(t))}{\delta_h + g}$$

Figura 2

Diagrama de fases con costos incrementales de tiempo en la educación presencial



Elaboración propia, 2022.

Como se observa en la figura 2 para el caso de incluir únicamente los costos de tiempo, tanto la senda de x como la de h se ven afectadas negativamente; por lo que ambas se contraen y se alcanza un punto óptimo de capital humano menor que el del escenario base. Esto indica que los individuos tienden a optar por el modo de acumulación de conocimientos que les brinda mayor comodidad y productividad, tomando en cuenta sus diversas realidades individuales. Por ello, en esta elección consideran aspectos como el mejor aprovechamiento del tiempo que pueden conseguir con las clases virtuales, ahorrándose el tiempo de transporte que puede ser destinarlo a un mayor tiempo de estudio (dado el segundo supuesto mencionado arriba, al inicio del acápite 4.2).

A continuación, el segundo modelo: *Costos monetarios*

De (II) = (III)

$$\varepsilon_{\phi'}(x) \frac{\dot{x}(t)}{x(t)} = r + v + \delta_h - \frac{\phi'(x(t))}{1 + m}$$

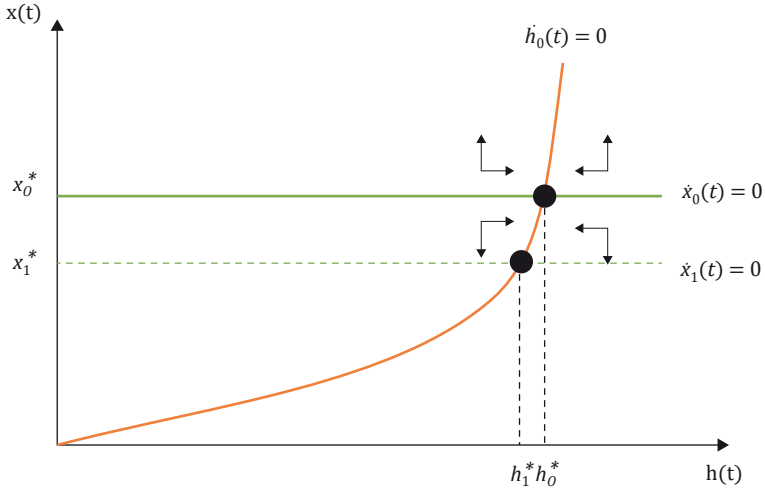
$$\frac{\dot{x}(t)}{x(t)} = \frac{1}{\varepsilon_{\phi'}(x)} \left[r + v + \delta_h - \frac{\phi'(x(t))}{1 + m} \right]$$

Para graficar:

$$\dot{x}(t) = 0 \qquad x(t) = \phi'^{-1}[(r + v + \delta_h)(1 + m)]$$

$$\dot{h} = 0 \qquad h(t) = \frac{\phi(x(t))}{\delta_h}$$

Figura 3
Diagrama de fases con costos incrementales monetarios en la educación presencial



Elaboración propia, 2022.

Cuando solo se toman en cuenta los costos monetarios, la figura 3 muestra que la senda de x es la única afectada, y, dado que $x(t) = s(t)h(t)$, se deduce que el efecto viene por parte de $s(t)$. Esto se explica porque el individuo, debido a los mayores costos monetarios de educarse, destina una mayor proporción de su tiempo diario a trabajar y una menor a acumular capital humano. Por ello, la senda de x se contrae y, efectivamente, hay una disminución del nivel de capital humano que el individuo logra acumular.

Finalmente, desarrollando el tercer modelo: *Costos de tiempo y costos monetarios*

De (II) = (III)

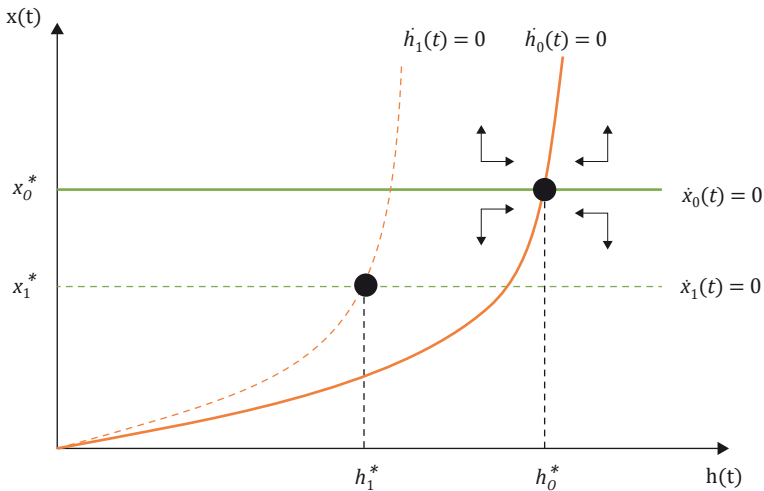
$$\varepsilon_{\phi'}(x) \frac{\dot{x}(t)}{x(t)} = r + v + \delta_h + g - \frac{(1-g)\phi'(x(t))}{1+m}$$

$$\frac{\dot{x}(t)}{x(t)} = \frac{1}{\varepsilon_{\phi'}(x)} \left[r + v + \delta_h + g - \frac{(1-g)\phi'(x(t))}{1+m} \right]$$

Para graficar:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) = 0 & & x(t) = \phi'^{-1}[r + v + \delta_h + g] \frac{1+m}{1-g} \\ \dot{h} = 0 & & h(t) = \frac{\phi(x(t))}{(\delta_h + g)} \end{aligned}$$

Figura 4
Diagrama de fases con costos incrementales de tiempo y monetarios en la educación presencial



Elaboración propia, 2022.

Por último, cuando se consideran los dos tipos de costos conjuntamente, también resulta que ambas sendas se ven afectadas (figura 4) debido a lo explicado anteriormente. Si bien el efecto es similar al encontrado para el primer caso (con solo costos de tiempo), en este tercer caso el efecto negativo en la senda de x resulta aún mayor que en el primero, como era de esperarse al adicionar el efecto de los costos monetarios.

5.2 Implementación en un modelo de crecimiento endógeno

A continuación, hacemos uso del modelo básico de Lucas para identificar el impacto, sobre el crecimiento económico de los antes mencionados efectos

en el capital humano, que tienen los costos incrementales en la educación virtual y en la educación presencial. Este modelo considera una función de producción tipo Cobb-Douglas y dos tipos de capital, físico (K) y humano (H); siendo $H = hL$, donde L son los trabajadores y h es el capital humano por trabajador. Además, no hay crecimiento poblacional ni progreso tecnológico, y ambos tipos de capital se deprecian a la misma tasa δ .

Restricción de la economía: $Y = AK^\alpha H^{1-\alpha} = C + I_K + I_H$

$$\dot{K} = I_K - \delta_K$$

$$\dot{H} = I_H - \delta_H$$

$$V = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \frac{C^{1-\theta} - 1}{1-\theta} dt$$

Hamiltoniano:

$$J = e^{-\rho t} \frac{C^{1-\theta} - 1}{1-\theta} + \lambda(I_K - \delta_K) + \beta(H - \delta_H) + \omega(AK^\alpha H^{1-\alpha} - C - I_K - I_H)$$

Condiciones de primer orden:

$$\frac{\partial J}{\partial C} = e^{-\rho t} C^{-\theta} - \omega = 0 \quad (I)$$

$$\frac{\partial J}{\partial I_K} = \lambda - \omega = 0 \quad (II)$$

$$\frac{\partial J}{\partial I_H} = \beta - \omega = 0 \quad (III)$$

$$\frac{\partial J}{\partial K} = -\delta\lambda + \omega\alpha AK^{\alpha-1} H^{1-\alpha} = -\dot{\lambda} \quad (IV)$$

$$\frac{\partial J}{\partial H} = -\delta\beta + \omega(1-\alpha)AK^\alpha H^{-\alpha} = -\dot{\beta} \quad (V)$$

Resolviendo, obtenemos la siguiente tasa de crecimiento del consumo:

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\theta}(\alpha A(\frac{K}{H})^{-(1-\alpha)} - \delta - \rho)$$

De (II) y (III): $\lambda = \beta = \omega$

$$-\delta\lambda + \omega\alpha AK^{\alpha-1}H^{1-\alpha} = -\dot{\lambda} \qquad -\delta\lambda + \lambda(1-\alpha)AK^{\alpha}H^{-\alpha} = -\dot{\lambda}$$

$$\alpha AK^{\alpha-1}H^{1-\alpha} = (1-\alpha)AK^{\alpha}H^{-\alpha}$$

$$PMg_K = PMg_H$$

$$\alpha \frac{AK^{\alpha-1}}{AK^{\alpha}} \frac{H^{1-\alpha}}{H^{-\alpha}} = 1 - \alpha$$

$$\frac{K}{H} = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

Por lo tanto, la ratio $\frac{K}{H}$ siempre crecerá de manera constante.

$$r^* = PMg - \delta$$

$$PMg_K = (1-\alpha)A\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha}$$

$$PMg_K = A\alpha^{\alpha}(1-\alpha)^{1-\alpha} = PMg_H$$

$$r^* = A\alpha^{\alpha}(1-\alpha)^{1-\alpha} - \delta$$

Reemplazando $\frac{K}{H}$:

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\theta}(\alpha^{\alpha}A(1-\alpha)^{1-\alpha} - \delta - \rho)$$

El consumo crece a una tasa constante.

$$Y = AK^{\alpha}H^{1-\alpha} = A\left(\frac{K}{H}\right)^{\alpha} H$$

$$Y = A\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)^{1-\alpha} K$$

$$\uparrow \frac{K}{H} \rightarrow \downarrow PMg_K \rightarrow \downarrow r \rightarrow \downarrow \frac{\dot{C}}{C} \rightarrow \downarrow \frac{\dot{Y}}{Y}$$

Reemplazando los valores hallados en el modelo Ben-Porath:

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\theta} (\alpha A (\frac{K}{Lh})^{-(1-\alpha)} - \delta - \rho)$$

5.2.1 Educación virtual

$$\uparrow \frac{K}{L \frac{\phi(x(t), \kappa)}{\delta_h}} \rightarrow \downarrow PMg_K \rightarrow \downarrow r \rightarrow \downarrow \frac{\dot{C}}{C} \rightarrow \downarrow \frac{\dot{Y}}{Y}$$

5.2.2 Educación presencial

$$\uparrow \frac{K}{L \frac{\phi(x(t))}{(\delta_h + g)}} \rightarrow \downarrow PMg_K \rightarrow \downarrow r \rightarrow \downarrow \frac{\dot{C}}{C} \rightarrow \downarrow \frac{\dot{Y}}{Y}$$

Como se observa en la ecuación de la tasa de crecimiento del consumo, si reemplazamos los resultados encontrados sobre el nivel de capital humano en el modelo de acumulación de capital humano mediante la modalidad virtual, obtenemos que las penalidades relacionadas con esta modalidad disminuyen la ratio $\frac{K}{H}$ y, así, tienen un impacto negativo sobre la productividad marginal del capital físico, que genera una caída de la tasa de crecimiento de la economía. Un resultado similar se obtiene al tomar en cuenta los costos incrementales relacionados con la educación presencial.

En consecuencia, obtenemos que tanto las penalidades por el lado de la educación virtual, como los costos incrementales de la educación presencial, generan una disminución de la tasa de crecimiento económico en el largo plazo. Estos resultados permiten realizar una comparativa para determinar qué costos son mayores y qué modalidad de educación sería más beneficiosa para el crecimiento económico. En tal sentido, se infiere que, en países donde no se cuente con alto grado de tecnología o de docentes bien capacitados en su uso, la productividad marginal de κ tenderá a 0; lo cual exacerbará los costos de la educación virtual, volviendo óptima la elección de la educación presencial. Por el contrario, en países que cuenten con altos niveles de desarrollo tecnológico e innovación, la tendencia será a elegir la modalidad virtual dado que sus penalidades serán menores que los respectivos costos incrementales.

La evidencia de lo sucedido con la educación, en varios países donde hubo cuarentena obligatoria durante la pandemia, sugiere que se incrementó su

nivel tecnológico y de docentes mejor capacitados en el uso de herramientas *online*. Cabe suponer, entonces, que el *gap* del retorno de la producción de capital humano entre la modalidad virtual y la presencial (representado por κ) se ha reducido poscuarentena. Lo cual implicaría que la educación virtual esté representando ahora un efectivo ahorro en los costos que asumen los individuos para acumular capital humano educándose, que impulsaría el crecimiento de la economía en el largo plazo.

5.3 Limitaciones

Una limitante para este estudio nuestro se deriva de la poca cantidad de años transcurridos desde la pandemia, explicativa de la carencia de datos suficientes para una identificación más completa de las nuevas preferencias de acumulación de capital humano de los individuos resultantes de la externalidad generada por la COVID-19, que permita realizar mejores estimaciones de escenarios o casos relevantes respecto a las sendas del capital humano y sus consecuencias en el crecimiento económico de largo plazo.

Otra limitación importante radica en el modelo implementado, que no diferencia entre los distintos desempeños individuales durante el tiempo dedicado al estudio y, por ende, puede sesgar la estimación tanto del capital humano efectivamente acumulado como de su contribución al crecimiento económico en el largo plazo. Por ejemplo, si el estudiante comete plagio u otras faltas menos detectables bajo la educación virtual, su rendimiento en términos de cursos aprobados y diplomas obtenidos no reflejaría sus conocimientos efectivamente adquiridos, dando pie a una sobrestimación del capital humano y aporte del individuo al crecimiento económico.

Por último, cabe recordar que el modelo de crecimiento endógeno de Lucas contiene, al estilo de varios modelos teóricos elementales, fuertes supuestos simplificadores que aconsejan cautela al aplicarlos para analizar situaciones reales, como son los supuestos de crecimiento poblacional y crecimiento tecnológico nulos.

6. Conclusiones y recomendaciones

La educación fue uno de los sectores esenciales más severamente impactados por la cuarentena impuesta debido a la pandemia de COVID 19, porque se impuso un modo enseñanza/aprendizaje distinto al habitual, que mudó a los estudiantes hacia la virtualidad. Si bien la adaptación a este tipo de educación representó un gran reto en sus inicios, actualmente se observa que gran parte de la población de estudiantes ha llegado a aceptar la nueva realidad y, en

ciertos casos, a preferir la nueva modalidad de enseñanza/aprendizaje frente a la tradicional.

El modelo aplicado en el presente trabajo nos permite concluir que los individuos que optan por la educación virtual logran obtener un mayor nivel de conocimientos expresado en su función de acumulación de capital humano. Esto debido principalmente al ahorro de costos en términos de tiempo disponible y complementariamente al ahorro de costos monetarios, por comparación con ambos costos en la educación presencial; ya que el modelo asume que el tiempo adicional provisto por el ahorro de tiempo será empleado por los individuos para seguir alcanzando mayores niveles de aprendizaje.

Dicho modelo muestra así que los individuos eligen entre la educación virtual y la presencial basados no solo en cuál de las dos les gusta más, sino también en función de los costos que les ocasiona cada tipo de aprendizaje, y que para ello comparan los respectivos costos de tiempo y monetarios. Es decir, más allá de la presencia de un sesgo cognitivo intrínseco al individuo por preferir un tipo de educación en específico, su decisión se inclina a favor del tipo de educación que le permite acumular un mayor nivel de conocimientos en el tiempo, satisfaciendo sus restricciones individuales monetarias y de tiempo, entre otras; a fin de maximizar su utilidad intertemporal.

Si bien la presente investigación modela una nueva dinámica económica producto del cambio en preferencias de acumulación de capital humano, no hace uso de datos debido a su falta de disponibilidad; por lo cual, no hemos podido evaluar empíricamente los resultados obtenidos del modelo. Por ello, recomendamos que, cuando los datos necesarios estén disponibles, se realicen investigaciones empíricas guiadas por un modelo igual o similar, para así obtener resultados sobre situaciones reales que puedan ser comparados con los obtenidos aquí.

En tal sentido, cabe resaltar que la determinación de los parámetros r , v y m varía según la investigación, pues dependen del país que se analice. Asimismo, se sugiere implementar *proxies* a las variables h y s . La variable h puede ser aproximada de varias maneras, como, por ejemplo, el puntaje obtenido del país en las pruebas PISA, el nivel de trabajadores locales en altos puestos de gerencia frente a trabajadores extranjeros, entre otros; por lo que queda a criterio de cada investigador escoger el *proxy* para incorporar esta variable en el modelo. Y la variable s puede ser implementada en el modelo con un *proxy*, o aproximando su valor mediante variables instrumentales que permitan capturar el impacto de *shocks* exógenos sobre el comportamiento del tiempo destinado a la acumulación de capital humano.

También sugerimos la realización de análisis que perfeccionen la metodología empírica aplicable al tema, en particular para incorporar variables no observables mediante *proxies* u otras especificaciones que permitan capturar aproximativamente la diferencia entre la educación virtual y la educación presencial en términos, por ejemplo, del grado de atención de los estudiantes en clase, de casos de plagio u otras faltas disciplinarias, entre otros aspectos relevantes para la formación de capital humano.

En todo caso, es muy importante que futuras investigaciones basadas en datos reales evalúen empíricamente si es significativo el impacto de la educación virtual sobre el capital humano, el nivel de empleabilidad y el crecimiento económico. La correspondiente verificación empírica de la significancia de dicho impacto, mediante estimaciones econométricas aplicadas al país o grupo de países analizado por cada investigación, serviría de base para implementaciones del modelo que hemos utilizado aquí, capaces de brindar aportes de utilidad práctica.

Referencias bibliográficas

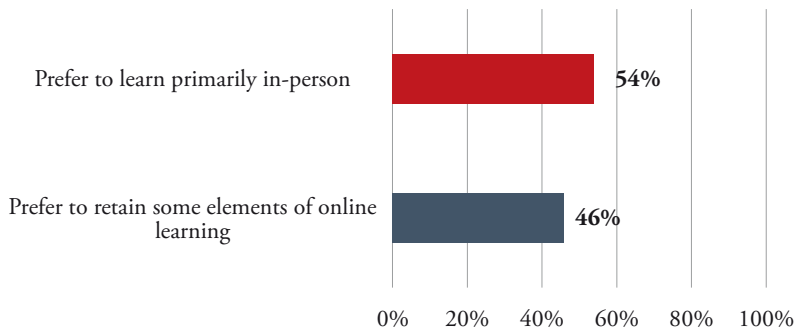
- Acemoglu, D. (2009). *Introduction to modern economic growth*. Princeton University Press. ISBN: 9780691132921.
- Ben-Porath, Y. (1967). The production of human capital and the life cycle of earnings. *The Journal of Political Economy*, 75(4), 352-365. doi: 10.1086/259291
- Ben-Porath, Y. (1970). The production of human capital over time. En W. L. Hansen (Ed.). *Education, income and human capital* (pp. 129-154). National Bureau of Economic Research. <https://www.nber.org/system/files/chapters/c3278/c3278.pdf>
- Cepal. (2020). *La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19*. Informe COVID-19 Cepal-Unesco. https://repositorio.cepal.org/.../11362/45904/1/S2000510_es.pdf
- Evers, H.-D. (2010). The knowledge gap and the digital divide. En T. Menkhoff, H.-D. Evers & C. Y. Wha (Eds.). *Governing and managing knowledge in Asia* (pp. 71-78). World Scientific Publishing Co. Ltd. doi: 10.1142/9789814289900_0004
- Funke, M., & Strulik, H. (2000). On endogenous growth with physical capital, human capital and product variety. *European Economic Review*, 44(3), 491-515. doi: 10.1016/S0014-2921(98)00072-5
- Global Market Insights. (2022). *E-learning market size*. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/elearning-market-size>
- Griliches, Z. (1996). *Education, human capital, and growth: A personal perspective*. NBER Working Papers, 5426. doi: 10.3386/w5426
- Hanushek, E. A., & Woessmann, L. (2007). *The role of education quality for economic growth*. World Bank Policy Research Working Paper, N.º 4122. doi: 10.1596/1813-9450-4122

- Hendricks, L. (2013). *The Ben-Porath model and age-wage profiles*. University of North Carolina. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:211201440>
- INEI. (2020). *Encuesta Nacional de Hogares 2019*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/enaho-2019>
- INEI. (2022). *Encuesta Nacional de Hogares 2021*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/enaho-2021>
- McKenzie, L. (2021, 27 de abril). Students want online learning options post-pandemic. *Inside Higher Ed*. <https://www.insidehighered.com/news/2021/04/27/survey-reveals-positive-outlook-online-instruction-post-pandemic>
- Mincer, J. (1981). *Human capital and economic growth*. NBER Working Papers, N.º 803. <http://www.nber.org/papers/w0803.pdf>
- Padhan, R., & Prabheesh, K. P. (2021). The economics of COVID-19 pandemic: A survey. *Economic Analysis and Policy*, 70, 220-237. doi: 10.1016/j.eap.2021.02.012
- Schultz, T. (1963). *Economic value of education*. Nueva York: Columbia University Press. ISBN: 9780231026406,0231026404
- Sharma, B., Lauano, F., Narayan, S., Anzeg, A., Kumar, B., & Raj, J. (2018). Science teachers accelerated programme model: A joint partnership in the Pacific region. *Asia-Pacific Journal of Teacher Education*, 46(1), 38-60. doi: 10.1080/1359866X.2017.1359820
- Top Hat. (2021). *3,052 college students on the good, the bad and learning post-COVID*. https://offers.tophatlecture.com/.../TopHat_Ebook_StudentSurvey_April2021.pdf

Anexos

Anexo 1 Preferencia por aprendizaje presencial y *online*

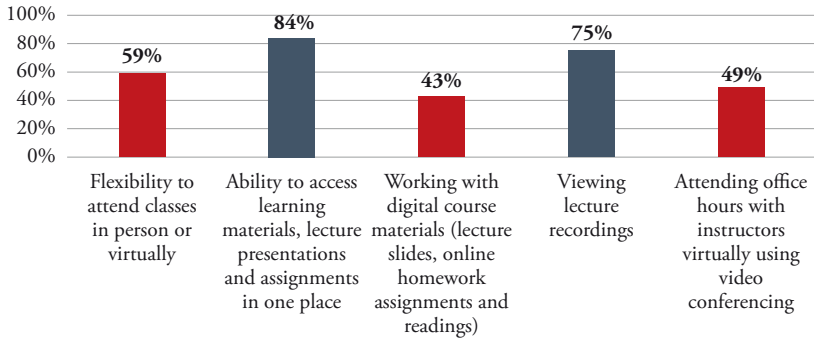
When campuses are able to safely reopen, what is the method that best describes how you would prefer to learn?



Fuente: Top Hat (2021). Elaboración propia, 2022.

Anexo 2 Características preferidas del aprendizaje *online*

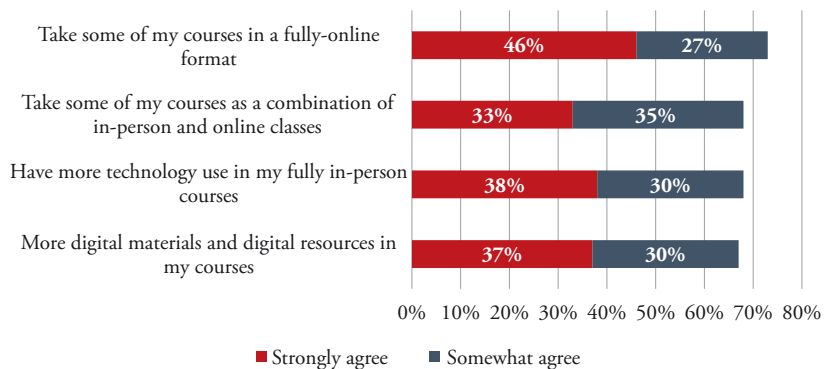
What elements of online learning would you like to continue incorporating into your education?



Fuente: Top Hat (2021). Elaboración propia, 2022.

Anexo 3 Preferencias por formas de aprendizaje pospandemia

Preferences for my post-pandemic academic experiences



Fuente: Top Hat (2021). Elaboración propia, 2022.