



UNIVERSIDAD
TORCUATO DI TELLA

UNIVERSIDAD TORCUATO DI TELLA

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA

MAESTRÍA EN ECONOMÍA APLICADA

Los efectos de la computarización del mercado laboral

Revisión de la literatura empírica

Alumno: Tamara Vanina Jaime

Tutor: Hernán Ruffo

N° Legajo: 13W1066

Fecha:30/06/2016

Resumen

Históricamente la tecnología permitió automatizar la mayoría de las tareas rutinarias del mercado laboral repercutiendo indefectiblemente en la composición de los mercados laborales. En las últimas décadas, esta tendencia se expande afectando a otros tipos de empleos: se complementa y/o sustituye el factor humano no sólo en tareas rutinarias sino también en ocupaciones no rutinarias que requieren mayor nivel cognitivo para su realización.

El objetivo de este trabajo es analizar cuáles son los efectos de la computarización del mercado laboral. En primer lugar, analizamos el caso de los países desarrollados mediante la revisión de literatura empírica. Luego, considerando el marco conceptual y los principales efectos de la computarización que existen en economías avanzadas, señalamos cuáles son los impactos en los países en desarrollo. De este modo, el estudio de ambos casos resultará complementario y permitirá abordar desde ambas perspectivas los efectos de la automatización del trabajo.

Palabras Clave: Mercado Laboral; Tecnología; Computarización; Empleo; Demanda de Habilidades

Contenido

INTRODUCCIÓN	3
SECCIÓN 1: REVISIÓN LITERATURA EMPÍRICA PARA PAÍSES DESARROLLADOS.....	6
MODELO: APROXIMACIÓN A UNA DEFINICIÓN Y APLICACIÓN.....	14
SÍNTESIS DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS DE LA COMPUTARIZACIÓN DEL MERCADO LABORAL EN PAÍSES DESARROLLADOS	18
SECCIÓN 2: EL CASO DE LOS PAÍSES EN DESARROLLO	22
CONCLUSIONES	26
REFERENCIAS.....	28

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia los avances tecnológicos permitieron automatizar la mayoría de las tareas rutinarias del mercado laboral. Esto implicó importantes efectos en la composición de los mercados laborales. Si bien esta situación continúa acentuándose, se observa que las transformaciones tecnológicas afectan a otros tipos de empleos: se complementa y/o sustituye el factor humano no sólo en tareas rutinarias sino también en ocupaciones que requieren mayor nivel cognitivo para su realización.

En este contexto, se plantea uno de los debates dentro de la economía laboral focalizado en analizar el creciente nivel de automatización¹ de los puestos laborales y sus efectos sobre las economías. El objetivo de este trabajo es, a partir de una revisión de la literatura empírica, determinar los efectos de la computarización del mercado laboral tanto en países desarrollados como en aquellos que se encuentran en desarrollo. Consideramos necesario el análisis de ambos casos de países dado que existe vasta literatura que estudia los factores y posibles impactos de la incorporación de la tecnología-tanto para las ocupaciones de tareas rutinarias como para aquellas que requieren mayor nivel cognitivo- en las economías desarrolladas; mientras que para el caso de los países en desarrollo la literatura empírica es escasa.

Con respecto a los mercados laborales de países desarrollados, encontramos el trabajo seminal de Autor, et al (2003) que formaliza un marco conceptual que permite analizar en qué medida la rápida adopción de nuevas tecnologías modifica las tareas realizadas por los trabajadores y la demanda de habilidades del mercado. Luego aplica su estudio a USA entre los años 1970 y 1998 teniendo como resultado que la computarización está asociada con la reducción de trabajos de tipo rutinario cognitivos y no cognitivos y un aumento en los insumos de factor trabajo de tipo no rutinario y cognitivo. Esto se traduce en una mayor demanda de trabajadores con un alto nivel educativo. En Autor (2010) se extiende el análisis para las décadas siguientes tanto para USA como países europeos obteniendo resultados similares: se experimenta un aumento de la demanda de los trabajadores más capacitados y el empleo crece de manera polarizada concentrado en los puestos de mayor habilidad (mayor salario) y menor habilidad (menor salario). También se señalan los posibles factores que contribuyen a la polarización: la automatización del mercado laboral y la integración internacional de los mercados laborales a través del comercio y, más recientemente, por el *offshoring*. Aunque también influyen las instituciones que regulan el mercado laboral.

Adicionalmente para el estudio de países europeos introducimos el paper de Goos, et al (2014) que se enfoca en documentar el grado de penetración de la polarización de

¹ A lo largo de este trabajo utilizamos los conceptos computarización o automatización haciendo referencia al proceso por el cual cualquier tipo de maquinaria (desde computadoras a programas de inteligencia artificial) sustituye de manera más eficiente el trabajo que actualmente están realizando las personas.

trabajo en 16 países de Europa Occidental durante el período 1993-2010 mediante el análisis del sesgo de la rutina laboral como consecuencia del cambio tecnológico y *offshoring*.

Frey y Osborne (2013) plantean un modelo que incorpora el fenómeno actual de la automatización de tareas no rutinarias utilizando un enfoque *forward looking* que permite estimar el riesgo de las ocupaciones considerando no sólo los avances actuales de la tecnología sino también la tendencia para los próximos años. El estudio es aplicado a USA obteniéndose que el 47% de las ocupaciones tienen un alto riesgo de ser automatizadas. Las nuevas tecnologías reducirán la demanda agregada del factor trabajo en aquellos puestos en los que las tareas puedan volverse rutinarias mediante un patrón de reconocimiento (riesgo alto), mientras crece la demanda de trabajo en aquellas tareas que no son susceptibles de ser computarizadas (riesgo medio y bajo). En consecuencia, en lugar de reducir la demanda de ocupaciones de ingresos medios (que ha sido el patrón en las últimas décadas), el modelo predice que la informatización sustituirá principalmente puestos de trabajo de baja cualificación y con salarios bajos en un futuro próximo.

Cabe mencionar que en este trabajo introducimos el detalle de la formalización del modelo desarrollado en Frey y Osborne(2013) dado que se aborda de manera integral la aplicación de la automatización del mercado laboral y puede constituir un precedente para futuras aplicaciones en otros países para determinar el riesgo de automatización del mercado laboral.

Por otro lado, encontramos escasa literatura de este tema aplicada a países en desarrollo. No obstante, teniendo en cuenta el marco conceptual anterior y los principales efectos de la computarización que existen en economías avanzadas, señalamos cuáles son los impactos en dichos países. De este modo, el estudio de ambos casos resultará complementario y permitirá abordar desde ambas perspectivas los efectos de la automatización del trabajo.

En los países en desarrollo-en base al estudio empírico del Word Bank (2016) encontramos que- si bien la mayor proporción de empleo corresponde a las ocupaciones de habilidades rutinarias cognitivas, se observa una tendencia creciente de demanda de habilidades no rutinarias cognitivas.

En este tipo de economías también se evidencia la polarización del mercado laboral y mayor riesgo de automatización que los países desarrollados.

Sin embargo, cabe mencionar que, es necesario considerar las particularidades del mercado laboral de los países en desarrollo como por ejemplo salarios bajos, el grado de informalidad y las limitaciones a la hora de adoptar los nuevos avances tecnológicos.

A fin de realizar cómo afecta la computarización en los países, la organización del trabajo tiene tres secciones. En la primera sección, se realiza una revisión de la literatura empírica sobre la automatización del mercado laboral en los países avanzados con el fin de detectar los factores y posibles impactos de la incorporación de la tecnología no sólo en ocupaciones de tareas rutinarias sino también en aquellas que no lo son. También se identifica la aproximación de un modelo que permita explicar el fenómeno de expansión de la computarización a los distintos puestos laborales. En base a esto, se señalan los impactos principales que se observan como consecuencia de la computarización en los mercados laborales de los países desarrollados. En la segunda sección, teniendo como guía los efectos principales en economías avanzadas, se estudian los impactos para el caso de los países en desarrollo. En la última sección se introducen las conclusiones pertinentes de ambos casos incluyendo un análisis comparativo de la situación entre ambos tipos de economías.

SECCIÓN 1: REVISIÓN LITERATURA EMPÍRICA PARA PAÍSES DESARROLLADOS

El trabajo de Autor, et al (2003) nos permite abordar un marco conceptual para determinar los efectos de la computarización del mercado laboral. La importancia de este estudio es que introduce la formalización de una teoría que permite analizar en qué medida la rápida adopción de nuevas tecnologías modifica: por un lado, las tareas realizadas por los trabajadores y, por otro lado, la demanda de habilidades que requiere el empleo.

En este enfoque se consideran cuáles son los nuevos usos de las computadoras y cómo estos generan más capacidades que pueden complementar o sustituir las habilidades humanas en los puestos de trabajo. A partir de esto, plantean dos observaciones que subyacen al análisis:

1. Las computadoras sustituyen a los trabajadores que realizan un conjunto de actividades cognitivas y manuales limitadas y bien definidas que pueden ser llevadas a cabo a partir del seguimiento de reglas explícitas ("**tareas rutinarias**")
2. Las computadoras complementan a los trabajadores en tareas de resolución de problemas y actividades de comunicación compleja (**tareas "no rutinarias"**)

En la siguiente tabla se expone una matriz que clasifica los tipos de tareas laborales (rutinaria versus no rutinaria, manual versus cognitiva) y la hipótesis acerca del impacto de la computarización en cada celda.

Tabla 1: Modelo de cuatro categorías de tareas con su posible impacto de la computarización

	Tareas rutinarias	Tareas no rutinarias
Tareas cognitivas	Impacto computarización: sustitución	Impacto computarización: complementariedad fuerte
Tareas manuales	Impacto computarización: sustitución	Impacto computarización: oportunidades limitadas para la sustitución o complementariedad

Fuente: Elaboración propia en base a Autor, et al. (2003)

A partir de esta estructura de tareas, los autores introducen tres postulados acerca de cómo el capital de computadoras interactúa con los insumos de capital humano repercutiendo en la demanda de tareas rutinarias y no rutinarias.

1. El factor capital puede sustituir en mayor medida al trabajo humano en la realización de tareas rutinarias frente a las no rutinarias.
2. Las tareas rutinarias y no rutinarias son sustitutos imperfectos.

3. La mayor intensidad en insumos rutinarios aumenta la productividad marginal de los insumos no rutinarios.

Luego se analiza la baja performance de los mercados de trabajo en las economías avanzadas. Si bien no hay un acuerdo unánime sobre los factores detrás de las altas tasas de desempleo, un número importante de trabajos teóricos han apuntado a la computarización como una explicación posible. Sumado a que la revolución tecnológica del siglo XXI implica una caída de los costos de la computación lo cual crea altos incentivos para los empleadores a sustituir factor humano por capital.

La literatura señala que la computarización en los mercados laborales tiene como impacto:

- Caída de empleo de ocupaciones intensivas en tareas rutinarias
- Cambios en la composición del mercado laboral dado que los trabajadores de salarios medios (reemplazados por maquinaria) pasan a realizar empleos de bajos ingresos² o, si pueden acompañar la demanda de habilidades de mayor nivel cognitivo, ocuparían trabajos de mayor salario. Esto se acentúa porque también existe un aumento en las ocupaciones que requieren mayor nivel cognitivo y habilidades para acompañar este avance tecnológico provocando un crecimiento del empleo de ocupaciones de salarios más altos. Esta situación captura la tendencia a la **polarización del mercado laboral**.

Los autores aplican esta teoría al mercado de trabajo de Estados Unidos, proveyendo mediciones de los cambios en la composición de las tareas de las ocupaciones entre los años 1960 y 1998. Para esto toman la base de los requisitos de los puestos de trabajo del *Dictionary of Occupational Titles* (DOT) con la muestra de los trabajadores empleados del *Census and Current Population Survey* para construir un panel consistente de las industrias y las tareas de las ocupaciones a lo largo de esos años. A partir de esta base de datos se analizan los cambios en las tareas entre industrias, grupos de educación y ocupaciones. Al utilizar las tareas realizadas en los puestos laborales en lugar del nivel educativo de los trabajadores que ocupan dichos puestos, los autores consideran que suplen el vacío teórico y empírico entre la literatura económica sobre el cambio tecnológico y las habilidades demandadas.

El modelo predice que las industrias que son inicialmente intensivas en el insumo trabajo de tareas rutinarias realizarán una mayor inversión relativa en el factor capital a medida que cae el costo del mismo. Estas industrias y ocupaciones reducirán el factor humano

² las tareas manuales de los empleos de salarios bajos son menos susceptibles de ser reemplazadas dado que necesitan grado de flexibilidad y adaptabilidad física

en las tareas rutinarias y aumentarán su demanda de factor humano de tareas no rutinarias que son complementarios a la incorporación de los equipos tecnológicos. Por lo tanto, estos factores harán que aumente la demanda relativa de trabajadores de mayor nivel educativo para que realicen tareas no rutinarias. Estos trabajadores poseerán una ventaja comparativa en tareas no rutinarias versus las tareas rutinarias. A medida, que cae el precio de las computadoras, estos dos mecanismos de (sustitución y complementariedad) ha provocado el aumento de la demanda de trabajadores que realizan tareas no rutinarias que, en mayor parte, se deben a trabajadores de educación universitaria.

Específicamente para USA, los autores hallaron que la computarización está asociada con la reducción de trabajos de tipo manual cognitivos y no cognitivos y un aumento en los insumos de factor trabajo de tipo no rutinario y cognitivo. Trasladando los cambios en las tareas por la demanda educacional, el modelo puede explicar el cambio del 60% de la demanda relativa estimada en favor del trabajo con alto nivel de estudio durante los años 1970 al 1998.

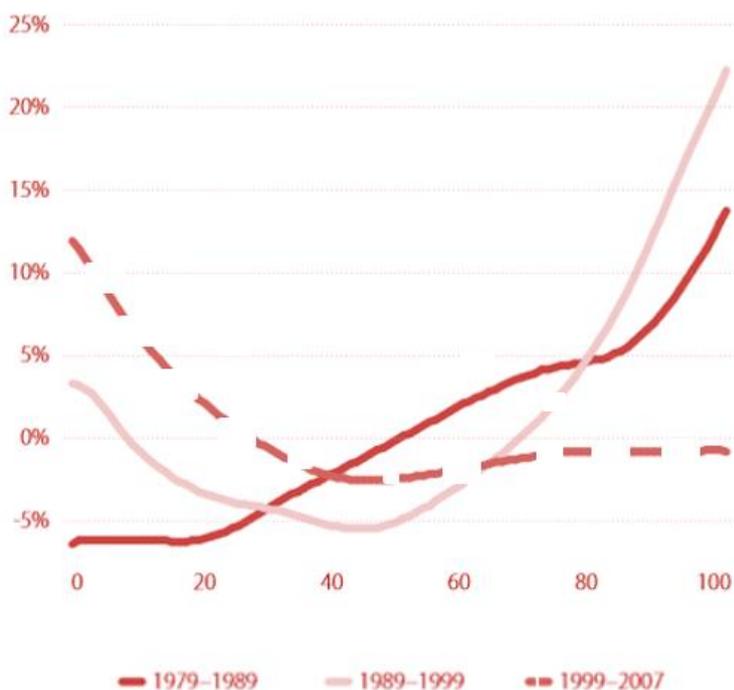
Luego, a partir de Autor (2010), podemos decir que se profundizan dichas características del mercado laboral de USA para las décadas siguientes: se experimenta un aumento de la demanda de los trabajadores más capacitados y el empleo crece de manera polarizada concentrado en los puestos de mayor habilidad (mayor salario) y menor habilidad (menor salario). Este fenómeno no sólo se aplica al caso norteamericano, sino que se extiende a los restantes países industrializados.

El paper estudia los posibles factores que contribuyen a la polarización: la automatización del mercado laboral y la integración internacional de los mercados laborales a través del comercio y, más recientemente, por el *offshoring*. También influyen, aunque en menor medida, las instituciones que regulan el mercado laboral en USA, como las uniones laborales y la legislación del salario mínimo.

Específicamente en el período de 1999 a 2007 aumenta la participación de los empleos de menores habilidades. En el gráfico 1 se representa la participación de los empleos de USA para las últimas tres décadas según los percentiles de habilidades de las ocupaciones (que se obtiene a partir de un ranking del salario promedio de las mismas). En cada una de las décadas se produce un cambio en la participación de los empleos. Durante la década del '80, el crecimiento del empleo por ocupación crecía de manera casi uniforme para las distintas habilidades ocupacionales. No obstante, en la década siguiente este patrón de crecimiento uniforme se modifica y comienza observarse una tendencia a la polarización. Esto se refleja con un crecimiento pronunciado en los percentiles más altos, un crecimiento modesto en los percentiles menores y una tendencia levemente negativa en los percentiles intermedios.

Luego, entre los años 1999 y 2007, el crecimiento del empleo se encuentra concentrado en los tres deciles menores que corresponden a las ocupaciones que requieren menores habilidades. En los deciles cuatro al nueve, se observa una caída en la participación del empleo. El crecimiento del empleo que requiere baja educación (y bajos salarios) se vuelve más notorio a partir del año 1999 y se acelera en los años siguientes.

Gráfico 1. Variaciones en la participación del empleo según los percentiles de habilidades ocupacionales



Fuente: Autor (2010)

Cabe mencionar, en línea con los factores que contribuyen a la polarización señalados en Autor(2010), el trabajo de Freeman (2014) también plantea que para explicar las diferencia en la demanda de habilidades, la caída de salarios y desempleo no sólo debemos introducir la hipótesis de la computarización sino también considerar otros factores, como por ejemplo, el comercio, la inmigración con salarios más bajos y las instituciones que poseen cada uno de los países.

Por otra parte, el paper de Goos, et al (2014) se enfoca en documentar el grado de penetración de la polarización de trabajo en 16 países de Europa Occidental durante el período 1993-2010 mediante el análisis del sesgo de la rutina laboral como consecuencia del cambio tecnológico y *offshoring*. Este modelo se puede utilizar para explicar la polarización del empleo total, en una industria y entre los componentes de una misma industria.

Este trabajo, mediante el análisis de 16 países de Europa Occidental, estudia la polarización del trabajo en las economías avanzadas del viejo continente. La hipótesis

principal consiste en que las causas de la polarización del trabajo se deben a los cambios tecnológicos recientes basados en el reemplazo del trabajo de las tareas rutinarias "*routine-biased technological change*" (RBTC) y la existencia de *offshoring* de otras tareas (también parcialmente influido por el cambio tecnológico).

En segundo lugar, se desarrolla un modelo para estimar la importancia del RBTC y del fenómeno del *offshoring* para explicar la polarización del trabajo. Las estimaciones sugieren que RBTC es más importante que el *offshoring*.

Los resultados de este estudio muestran los cambios en la estructura de empleo europea a partir de la participación de las ocupaciones entre el año 1993 y 2010 para los 16 países. Se observa que:

- Los cargos gerenciales de mayor pago, profesionales y profesionales asociados experimentaron un rápido incremento en la participación del empleo.
- La participación en el empleo del personal administrativo, asistentes y operarios de plata y mecánicos que tienen una remuneración de nivel medio, han caído en participación del empleo.
- Se encuentra patrones similares para USA y UK donde hay un aumento en la participación del empleo en algunos trabajadores de salario bajo.

El paper establece que la polarización se fue extendiendo a lo largo de las economías europeas entre los años 1993-2010 tanto en las industrias como entre los componentes de una misma industria.

Por su parte, el trabajo de Frey and Osborne (2013) toma como base teórica el análisis realizado por Autor, et al (2003) pero expande su estudio incorporando los avances actuales en aprendizaje automático ("*machine learning*") y considerando la perspectiva futura de nuevos progresos en este campo.

Los autores examinan cómo el avance tecnológico podría ampliar las tareas que pueden realizarse por equipos computarizados, focalizándose en los avances relacionados con:

Aprendizaje Automático ("*Machine Learning*", ML): explotación de datos ("*data mining*"), visión artificial ("*machine visión*"), estadísticas de las ciencias computacionales y otras subáreas de la Inteligencia Artificial (IA). Estos son campos en los cuales se centra el esfuerzo en desarrollar algoritmos que permitan automatizar tareas.

Robótica Móvil ("*Mobile Robotics*", MR): estudian la aplicación de las tecnologías ML en la robótica que permita extender la computarización en tareas manuales.

Utilizan la categorización y definiciones de Autor, et al. (2003) en la que se distingue los tipos de tareas laborales (Tabla 1). Señalan que históricamente la computarización estuvo focalizada en tareas manuales y cognitivas pero del tipo rutinarias. Sin embargo, dados los avances tecnológicos recientes, la computarización se está expandiendo a dominios definidos como no rutinarios (tanto manuales como cognitivos). Estos avances tecnológicos fueron, en gran parte, debido a los esfuerzos de convertir tareas no rutinarias en problemas bien definidos. En la definición de estos problemas es relevante el rol de los datos masivos ("*big data*") que se requiere para especificar las variadas contingencias que la tecnología tiene que manejar con el fin de ser un adecuado sustituto del trabajo humano. A partir de los datos se puede obtener exitosas medidas de éxito cuantificables y objetivas provenientes de un algoritmo que permite el mejoramiento continuo de su performance en comparación con el trabajo humano. En este sentido el progreso tecnológico se ha visto favorecido por la reciente producción de conjuntos de datos cada vez más grandes y complejos.

Como resultado, la computarización ya no está limitada a tareas rutinarias (que pueden ser escritas como consultas de software basadas en reglas) sino que también se está expandiendo a cada una de las tareas no rutinarias donde se encuentre disponible *big data*. Por lo tanto, los autores se focalizan en los dos tipos de tareas no rutinarias (tanto cognitivas como manuales) dado que con la disponibilidad del big data, un amplio rango de dichas tareas se está convirtiendo en computarizable.

En este sentido, la robótica manual provee un medio para aprovechar directamente la tecnología del ML aumentando el alcance de informatización de las tareas que poseen más actividades manuales. Este tipo de desarrollo tecnológico del hardware robótico tiene un notable impacto sobre el empleo: en las últimas décadas, los robots industriales han asumido las tareas de rutina de la mayoría de los operarios en la industria manufacturera. Sin embargo, más recientemente, los robots más avanzados pueden realizar tareas manuales no rutinarias. En consecuencia, como las capacidades tecnológicas se expanden y los costos de robots declinan, se puede esperar que los robots puedan sustituir gradualmente la mano de obra en una amplia gama de ocupaciones de servicios con salarios bajos, donde se ha producido el mayor crecimiento de empleo de Estados Unidos en las últimas décadas (Autor y Dorn, 2013). Esto significa que muchos trabajos manuales con salarios bajos que se han protegido previamente de la informatización podrían disminuir con el tiempo.

A partir de lo anterior, podemos señalar que el modelo de Autor et al. (2003) sienta las bases teóricas para el análisis de los efectos de la computarización en el mercado laboral. No obstante, considerando el contexto actual, resulta relevante incorporar los aportes del trabajo de Frey and Osborne (2013) para llegar a la aproximación de un modelo ampliado que estudie los mismos impactos pero incluyendo los avances actuales y tendencias futuras de la tecnología.

Con este fin los autores aplican su trabajo al caso de Estados Unidos para determinar qué proporción de un listado de 702 ocupaciones están en riesgo de ser automatizadas. Agrupan el total de ocupaciones según su probabilidad de computarización y según el valor de ésta última se define si tiene un riesgo alto, medio y bajo. De acuerdo a su estimación el 47% del total de los empleos de USA tienen alto riesgo de ser computarizados.

Cabe mencionar que, el riesgo de computarización que tendrán las ocupaciones también dependerá del surgimiento de los avances tecnológicos. En la primera etapa, se verían afectadas el 47% de las ocupaciones de alto riesgo que están asociadas a empleos en transporte, logística, trabajadores de soporte administrativo, oficinistas y constructores. Podemos decir que son los trabajos de mayor riesgo porque son puestos que están en línea con los desarrollos tecnológicos actuales. Luego, la computarización de los puestos de trabajo de riesgo medio (19%) y bajo (33%) está asociada a la resolución de los cuellos de botella existentes para tareas relacionadas con la creatividad, inteligencia social y percepción.

Por eso teniendo en cuenta estos tres tipos de riesgo, el modelo predice que los desarrollos recientes en ML reducirán la demanda agregada del factor trabajo en aquellos puestos en los que las tareas puedan ser rutinizadas mediante un patrón de reconocimiento (riesgo alto), mientras crece la demanda de trabajo en aquellas tareas que no son susceptibles de ser computarizadas (riesgo medio y alto).

Otro impacto que analizan es la relación de los salarios y el nivel de educación alcanzada con la probabilidad de automatización. Ambos presentan una relación negativa.

A diferencia de los modelos de Autor et al. (2003) y Goos et al (2014), se observa que las estimaciones del modelo muestran un cambio en la tendencia actual caracterizada por la polarización del mercado de trabajo dado que, en lugar de reducir la demanda de ocupaciones de ingresos medios-que ha sido el patrón en las últimas décadas- el modelo predice que la informatización sustituirá principalmente puestos de trabajo de baja cualificación y con salarios bajos en un futuro próximo (47% de los empleos).

Este resultado está asociado a que el modelo tienen un enfoque *forward looking* al realizar estimaciones de automatización en base a las tendencias futuras de la aplicación de la tecnología en las ocupaciones. En consecuencia para que estos resultados se produzcan dependerá de diversos factores:

1. las invenciones para ahorrar trabajo sólo pueden ser adoptadas si el acceso a mano de obra barata es escaso o el factor capital es barato. Es decir que los futuros salarios y costos de capital pueden repercutir en los resultados.

2. La regulación laboral y el activismo político puede enlentecer este proceso.
3. La dificultad de determinar el grado de avance de la tecnología a lo largo del tiempo.

Como mencionamos anteriormente, este paper utiliza un modelo ampliado con respecto al de Autor et al. (2003) para analizar el impacto de la computarización del mercado laboral dado que el avance de los últimos años de la tecnología aumenta la posibilidad de reemplazar trabajo humano no sólo en tareas rutinarias sino también en no rutinarias. A su vez, en lugar de enfocarse en los efectos de sustitución debidos a los recientes progresos tecnológicos, el modelo se construye sobre el modelo de tipos de tareas a partir de la derivación de los factores que se espera determinarán la extensión de la computarización en las tareas no rutinarias. En este sentido introduce una nueva diferenciación de ocupaciones: entre trabajo susceptible (L_s) y no susceptible (L_{ns}) de ser reemplazados por computadoras. La diferencia con el modelo original de Autor (2003) es que L_s no se restringe al factor trabajo rutinario. Los autores justifican esta extensión dado que los desarrollos recientes en ML y MR, a partir del uso del *big data*, hacen posible que el capital computarizado pueda sustituir el trabajo en un rango de tareas no rutinarias. Si bien aún existen cuellos de botella en la computarización se puede argumentar que es posible tecnológicamente automatizar cualquier tarea a través del uso de *big data* y el reconocimiento de un patrón que haga posible un algoritmo. Por lo tanto, el tiempo en que estos cuellos de botella pueden ser superados determinará el grado de computarización de las ocupaciones en el siglo XXI. Por eso resulta necesario plantear que actualmente la computarización del trabajo presenta limitaciones que se pueden agrupar en las siguientes tres categorías de tareas:

- Tareas de percepción y manipulación: los robots son aún incapaces de lograr la profundidad y amplitud de la percepción humana (por ejemplo, el manejo de objetos irregulares)
- Tareas de inteligencia creativa: el proceso psicológico que subyace a la creatividad humana resulta difícil de especificar (por ejemplo, la escritura literaria, composición musical, pintura, escultura)
- Tareas de inteligencia social: la inteligencia social humano resulta importante para un amplio espectro de tareas relacionadas a la negociación, persuasión y cuidado.

De este modo los autores señalan que si bien los algoritmos y el desarrollo en MR (sobre la base del uso del *big data*) permite que las tareas no rutinarias pueden ser automatizadas, aquellas ocupaciones en la que intervienen tareas de percepción,

manipulación e inteligencia social y creativa son poco probables de ser sustituidas por computadoras en la próximas dos décadas.

Con respecto a la aplicación del marco teórico de este último paper podemos decir que el *first best* para identificar el impacto de los avances tecnológicos en el empleo sería realizar un experimento entre dos economías idénticas y autárquicas: una, en la que se observen estos desarrollos tecnológicos y la caída de los costos de la computarización y; otra economía en la que esto no suceda. Esto permitiría examinar como la computarización modifica la forma de la composición ocupacional del mercado laboral. En ausencia de este experimento, el *second best* sería construir y testear, como el enfoque utilizado por Autor et al. (2003), un modelo económico para predecir cómo la demanda de las tareas de los puestos laborales responden al desarrollo de la tecnología ML y MR. No obstante esta opción no está disponible para el propósito del paper dado que el enfoque que plantean los autores es *forward-looking* en el sentido que mucha de la tecnología descrita y, que es necesaria tener en cuenta, aún no está implementada.

Teniendo en cuenta este marco conceptual, en el siguiente apartado introducimos el modelo utilizado en el trabajo de Frey and Osborne (2013) para determinar el efecto de la computarización en el mercado laboral considerando el contexto actual y tendencias futuras de los avances tecnológicos.

MODELO: APROXIMACIÓN A UNA DEFINICIÓN Y APLICACIÓN

El modelo asume la siguiente función de producción de forma Cobb Douglas con retornos constantes de escala:

$$(1) \quad Q = (L_S + C)^{1-\beta} L_{NS}^\beta, \beta \in [0,1]$$

Siendo,

L_S : factor trabajo susceptible

L_{NS} : factor trabajo no susceptible

C : factor capital (computadoras)

Supuestos:

- C tiene oferta perfectamente elástica al precio del mercado.
- Precio de mercado cae exógenamente con el avance tecnológico.
- Los trabajadores maximizan sus ingresos con su dotación de productividad (susceptible y no susceptible) determinada exógenamente.

La oferta responde elásticamente al nivel de salarios relativos. Los trabajadores reasignan su oferta de trabajo de acuerdo a sus ventajas comparativas. Considerando los supuestos anteriores, podemos decir que una expansión de las capacidades computacionales (resultado de los avances tecnológicos) y la caída de los precios de mercado de computación, los trabajadores ocupados en tareas susceptibles reasignarían su mano de obra a tareas no susceptibles.

Los autores definen que la probabilidad que una ocupación pueda ser automatizada está dada por una función de las tres categorías de tareas de trabajo no susceptible. De este modo, examinan la susceptibilidad de la computarización de los trabajos como una función de las tareas no susceptibles. No obstante, considerando la existencia de los “cuellos de botella” establecidos por los límites actuales de la computarización de las tareas no rutinarias, se describe el factor trabajo no susceptible de la siguiente manera:

$$(2) \quad L_{NS} = \sum_{i=1}^n (L_{PM,i} + L_{C,i} + L_{SI,i})$$

Siendo,

$L_{PM,i}$: factor trabajo en tareas de percepción y manipulación

L_C : factor trabajo en inteligencia creativa

L_{SI} : factor trabajo en inteligencia social.

APLICACIÓN PARA ESTADOS UNIDOS:

Los autores aplican este modelo en el mercado laboral de Estados Unidos. En cuanto a la fuente de datos y estrategia de implementación, utilizaron el servicio online de empleos “*Occupational Information Network*”³ (O*NET) desarrollado por el Departamento de Trabajo de Estados Unidos sobre un listado de 903 ocupaciones que corresponden de manera muy aproximada a la clasificación de las ocupaciones estándar (*Standard Occupational Classification, SOC*) del Departamento de Estadísticas de Trabajo. Para el propósito del paper, la importancia del uso de la base de O*NET es que define los aspectos claves de una ocupación como un conjunto de variables que pueden ser estandarizadas y medibles. Permitiendo realizar un ranking objetivo de las ocupaciones de acuerdo a un conjunto de conocimientos, habilidades y las capacidades necesarias.

La correspondencia entre la categorización SOC y O*NET permite asociarlas con las características ocupacionales de los datos de empleo y salarios del año 2010 *Bureau of Labor Statistics* (BLS). Para obtener una base de datos consistente pasaron a agregar algunas ocupaciones con características comunes pero que estaban diferenciadas y excluyeron las ocupaciones con las que no se contaba información en la O*NET. Esto dio lugar a una base de datos final de 702 ocupaciones.

Previamente a la estimación sobre las 702 ocupaciones, toman una muestra de 70 de las mismas. Luego, junto con un grupo de investigadores de ML, etiquetaron 70 ocupaciones: asignando 1 si es automatizable y 0 si no lo es. Esta decisión la tomaron en base a si las tareas y las descripciones de los trabajos de O*NET para cada ocupación eran lo suficientemente específicas como para ser realizada por equipos de computación. Sólo asignaron 1 a las ocupaciones que pueden ser totalmente automatizadas. Si bien se consideró la posibilidad de simplificar las tareas lo que podría hacer posible que tareas no automatizadas puedan llegar a serlo, las categorizaciones fueron asignadas sólo en las ocupaciones en las que se tenían total certeza.

Luego, para las tareas de percepción y manipulación, inteligencia creativa e inteligencia social para las cuales aún existen limitaciones para su computarización se utilizó la descripción objetiva que tiene de la O*NET (Ver Tabla 2). En la tabla 2 se identifican nueve variables que describen los atributos de esas tareas. De este modo, los autores se focalizan en dichas variables para las cuales se establece una escala (alta, medio y bajo) de las capacidades que se requieren para que la computarización pueda aplicarse en cada caso. Por ejemplo, en relación al atributo de “destreza manual” se divide en tres

³ El programa O*NET es la fuente primaria de Estados Unidos de información ocupacional. La importancia del proyecto es que la base de datos O*NET contiene información exhaustiva y estandarizada de descripciones específicas de ocupaciones.

niveles: alto, medio, bajo. Esto da un indicador del nivel de destreza manual que se requiere de un computador para realizar esa ocupación específica.

Tabla 2: Variables O*NET utilizadas como indicadores de las limitaciones para la computarización de determinadas tareas

Tareas con limitaciones de computarización	Variable O*NET
Percepción y manipulación	Destreza en los dedos
	Destreza manual
	Espacios de trabajos reducidos posiciones incómodas
Inteligencia Creativa	Creatividad
	Arte
Inteligencia Social	Percepción social
	Negociación
	Persuasión
	Asistencia y cuidado de otros

Fuente: Elaboración propia en base a Frey and Osborne (2013)

El hecho que se hayan etiquetado 70 del total de 702 ocupaciones se debe a la posibilidad de seleccionar aquellos puestos en los cuales el nivel de computarización asignado es de alta confiabilidad, esto reduce el riesgo de sesgo de subjetividad que podría afectar al análisis. Luego, para desarrollar un algoritmo apropiado para esta tarea, utilizaron una clasificación probabilística. Desarrollan un algoritmo que provee el nivel de probabilidad dado un vector de variables inobservables. En la terminología de la clasificación, las variables de O*NET se construye un vector de las 9 variables denotado como $\underline{x} \in \mathbb{R}^9$. A partir de la base de O*NET se puede obtener un vector de este tipo para las 702 ocupaciones. Luego se define una variable para definir si una ocupación es computarizable o no que se denota como $y \in \{0,1\}$. Para los fines del paper, $y = 1$ implica que la ocupación es computarizable con la descripción asociada con las nueve variables O*NET contenidas en el vector $\underline{x} \in \mathbb{R}^9$.

Luego, se define una matriz de datos de muestra a partir de las 70 ocupaciones: $\mathcal{D} = (X, \underline{y})$

Donde,

$X \in \mathbb{R}^{70 \times 9}$ (matriz de variables)

$\underline{y} \in \{0,1\}^{70}$ (da las etiquetas asociadas de computarización)

Este conjunto de datos contiene información sobre cómo varía y como función de \underline{x} . El algoritmo de clasificación probabilística explota patrones existentes en los de la muestra para devolver la probabilidad $P(y_* = 1 | \underline{x}_*, X, \underline{y})$ para una nueva ocupación sin

etiquetar dado un conjunto de datos de características denominadas \underline{x}_* teniendo una etiqueta de $y_* = 1$.

En base a lo anterior, introducen la función discriminante $f: \underline{x} \rightarrow \mathbb{R}$. Dado el valor de esta función f_* valuada en el punto \underline{x}_* , los autores asumen que la probabilidad para establecer la clase de etiquetas está dado por la función:

$$(3) P(y_* = 1|f_*) = \frac{1}{1 + \exp(-f_*)}$$

Siendo,

$$P(y_* = 0|f_*) = 1 - P(y_* = 1|f_*)$$

La función f es pensada como una variable continuamente valuada de automatización: cuánto mayor es su valor, mayor es la probabilidad de computarización.

Este enfoque primeramente permite el uso de las características de las 70 ocupaciones sobre las cuales se trabaja y se testea, mediante un proceso de clasificación Gaussiano, las funciones asumidas. Al saber que los resultados se ajustan a las clasificaciones realizadas previamente en forma “manual” mediante los rankings sobre ocupaciones que se tienen certeza de su grado de computarización posible, se extiende la estimación para predecir las restantes 632.

SÍNTESIS DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS DE LA COMPUTARIZACIÓN DEL MERCADO LABORAL EN PAÍSES DESARROLLADOS

En base a la revisión de la literatura empírica anterior complementada con los resultados del World Development Report (2016), señalamos las principales características que se observan en los países desarrollados como consecuencia de la computarización del mercado laboral.

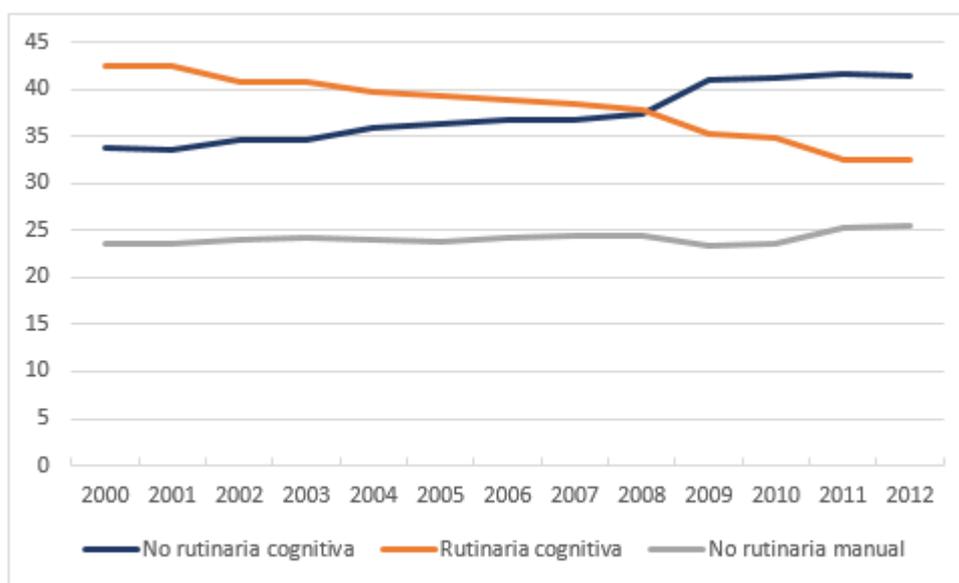
- **Cambios en la demanda de habilidades**

En el siguiente gráfico se observa la tendencia decreciente de la demanda de trabajo de tipo rutinario, acentuándose a partir del año 2008. Mientras que la demanda de trabajo no rutinario cognitivo crece en el período de análisis. Esto evidencia que a la

hora de demandar trabajo son más valoradas las habilidades cognitivas relacionadas con las tecnologías de información y comunicación, creatividad, resolución de problemas y pensamiento crítico. Cabe mencionar que, estos son los puestos mejor remunerados del mercado laboral.

Los avances tecnológicos inducen a un aumento en la demanda laboral de personas que posean determinado tipo de habilidades: mayor nivel cognitivo, socioemocionales y manejo de las nuevas tecnologías.

Gráfico 2: La composición del empleo por tipo de ocupaciones según las habilidades requeridas entre los años 2000 y 2012



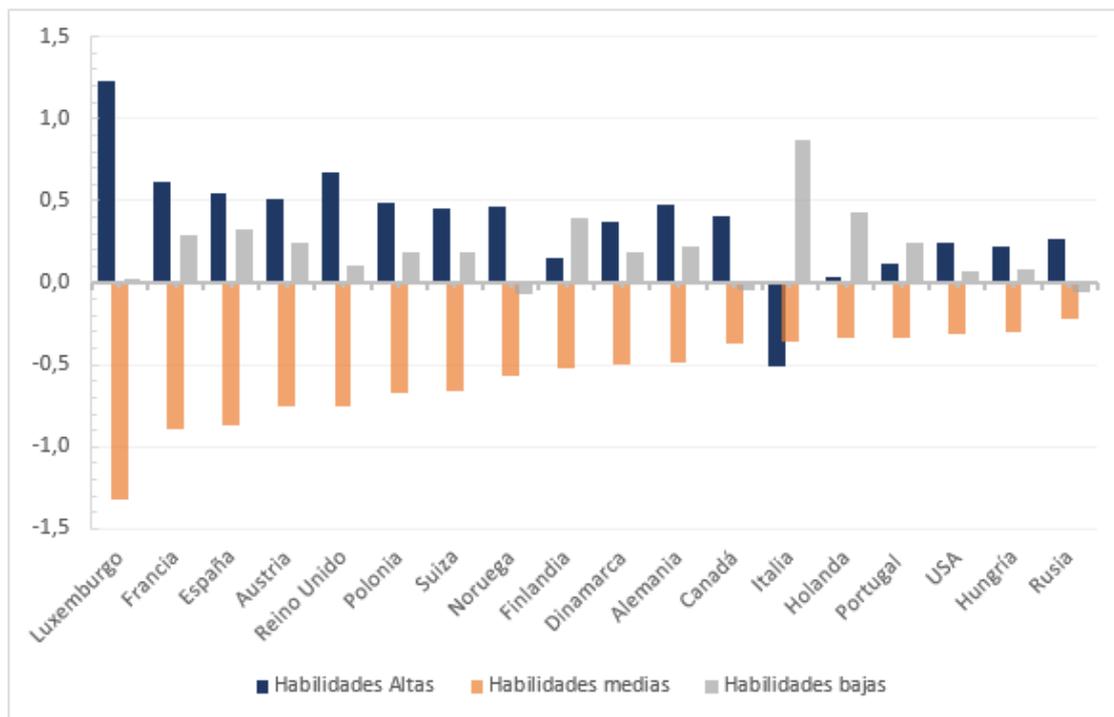
Fuente: Elaboración propia en base a World Development Report 2016: Digital Dividends

- **Polarización del mercado laboral**

Como reflejo del cambio en la demanda de habilidades encontramos que las economías avanzadas presentan mercados de trabajo cada vez más polarizados puesto que el uso de la tecnología en los puestos laborales acrecienta las habilidades de más alto nivel y reemplaza los trabajos rutinarios (principalmente de capacidades medias) lo cual, a su vez, obliga a muchos trabajadores a tomar empleos de habilidades bajas. Esta situación es ilustrada en el siguiente gráfico: se observa un crecimiento en las proporciones que representan las ocupaciones de alta y baja habilidad mientras que en todos los casos el porcentaje de los de habilidades medias cae.

No obstante, es necesario considerar, a partir del modelo de Frey y Osborne (2013), que la polarización del mercado laboral podría comenzar disminuir puesto que, si incorporamos las tendencias futuras del avance tecnológico, los puestos de menores habilidades (y salarios) podría comenzar a reducirse en mayor proporción que los de habilidades medias. Esto sucederá en la medida que comiencen a superarse los cuellos de botella actuales que presenta la tecnología.

Gráfico 3: Variación promedio anual de la participación de las ocupaciones clasificadas por su nivel de capacidades requeridas



Fuente: Elaboración propia en base a World Development Report 2016: Digital Dividends

- **Riesgo de automatización laboral**

Tomando como referencia el modelo aplicado por Frey y Osborne (2013) se obtiene que el 47% de los empleos actuales de una economía avanzada posee un alto riesgo de automatizarse en las próximas décadas. Luego, la computarización de los puestos de trabajo de riesgo medio que representa el 19% del empleos está asociada a la resolución de los cuellos de botella existentes para tareas relacionadas con la creatividad y percepción. Por último el 33% de los puestos laborales en negocios, dirección de empresas, educación, cuidados de salud presentan un riesgo bajo.

Este reemplazo del factor humano por computadoras dependerá de los avances que presente la tecnología en relación a tareas de percepción y manipulación; de inteligencia creativa y de inteligencia social.

SECCIÓN 2: EL CASO DE LOS PAÍSES EN DESARROLLO

Considerando la escasa literatura sobre los efectos de la automatización del mercado laboral para países en desarrollo y la internacionalización de la producción en cadenas transnacionales de valor -que hacen que las economías estén cada vez más interrelacionadas utilizaremos- utilizaremos, como marco conceptual, los principales aspectos que encontramos en países desarrollados para analizar los impactos de la computarización en aquellos países que se encuentran en desarrollo.

No obstante, es necesario tener en cuenta, las particularidades que presentan los mercados laborales de las economías en desarrollo.

Estos países aún carecen de motores estables y fuentes endógenas de crecimiento por lo cual dependen en gran medida de las dinámicas de la economía mundial. A su vez, persisten los principales problemas económicos históricos: la baja productividad, la poca diversificación productiva, la falta de incentivos a la innovación, el poco valor agregado, la predominancia de micro y pequeñas empresas y la falta de empresas medianas, las deficiencias en calidad y pertinencia de la educación y la formación profesional (OIT, 2015).

También se caracterizan por la creación de empleos en el sector informal de la economía, específicamente, el 60% de los ingresos de la población activa procede de dicho sector. En consecuencia, existe menor seguridad en el empleo, ingresos más bajos, falta de acceso a una serie de prestaciones sociales y escasas oportunidades de participar en los programas de educación y formación. Estos representan factores fundamentales en el tipo de habilidades que poseen los trabajadores en dichos países. Es menor la proporción de los trabajadores que puede beneficiarse de las disrupciones provocadas por la tecnología y que posean habilidades adicionales que les permitirán pasarse a ocupaciones no rutinarias mejores pagas, en las que la tecnología tiende a incrementar el capital humano y la productividad de los trabajadores capacitados. Es decir que, los que carezcan de estas competencias, deberán buscar trabajo en ocupaciones no rutinarias que exijan menos capacitación, como los servicios de conserjería, la industria hotelera o el cuidado personal. Si bien la demanda de estos servicios puede elevarse, no será lo suficiente para evitar la presión a la baja que experimentarán los salarios a medida que se incremente la mano de obra disponible en estos sectores (World Development Report, 2016).

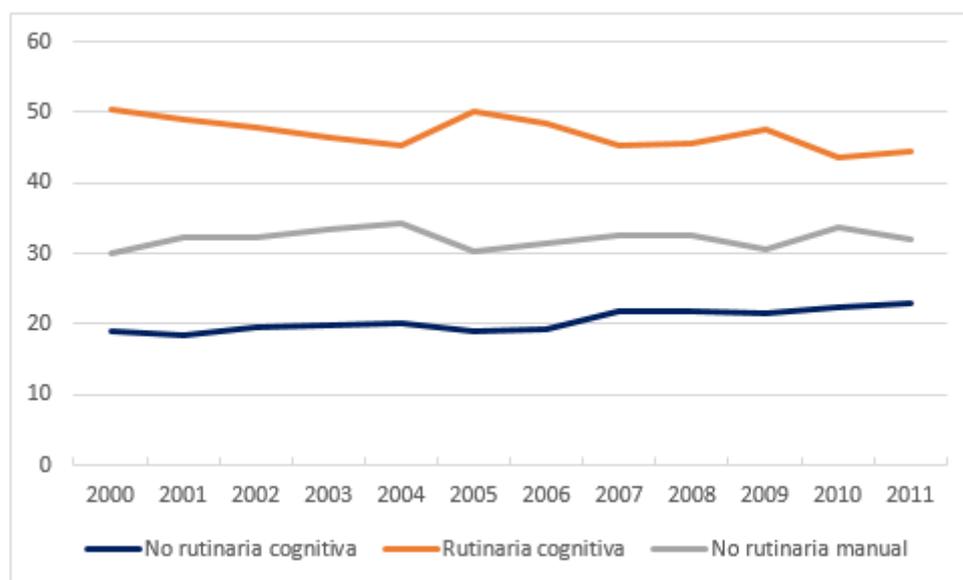
En este sentido podemos mencionar que los países con este nivel de desarrollo-a diferencia de Estados Unidos- tiene una menor expansión en áreas de la “nueva economía” que requieren habilidades de mayor sofisticación con alto nivel analítico y habilidades interpersonales. Esta conclusión se ve reforzada por la evidencia de las encuestas a empresas globales que encuentran limitaciones en la contratación de trabajadores cualificados (Aedo, C. & I. Walker, 2012)

En este contexto, analizamos los principales aspectos que implican la computarización del mercado laboral de los países en desarrollo:

- **Demanda de habilidades**

A diferencia de lo que sucede para los países avanzados, observamos que en estas economías las proporciones de los tipos de habilidades de las ocupaciones para el período 2000 y 2011 no presentan cambios abruptos. El porcentaje más significativo se mantiene en los empleos rutinarios cognitivos que se encuentra entorno al 40-50% en dichos años. Luego, las ocupaciones no rutinarias manuales están en una proporción fluctuante del 30%. Por último, las ocupaciones de habilidades no rutinarias cognitivas representan la menor proporción del empleo pero manteniendo una tendencia creciente en el último tiempo.

Gráfico 4: Proporción de tipos de habilidades de las ocupaciones entre los años 2000 y 2011

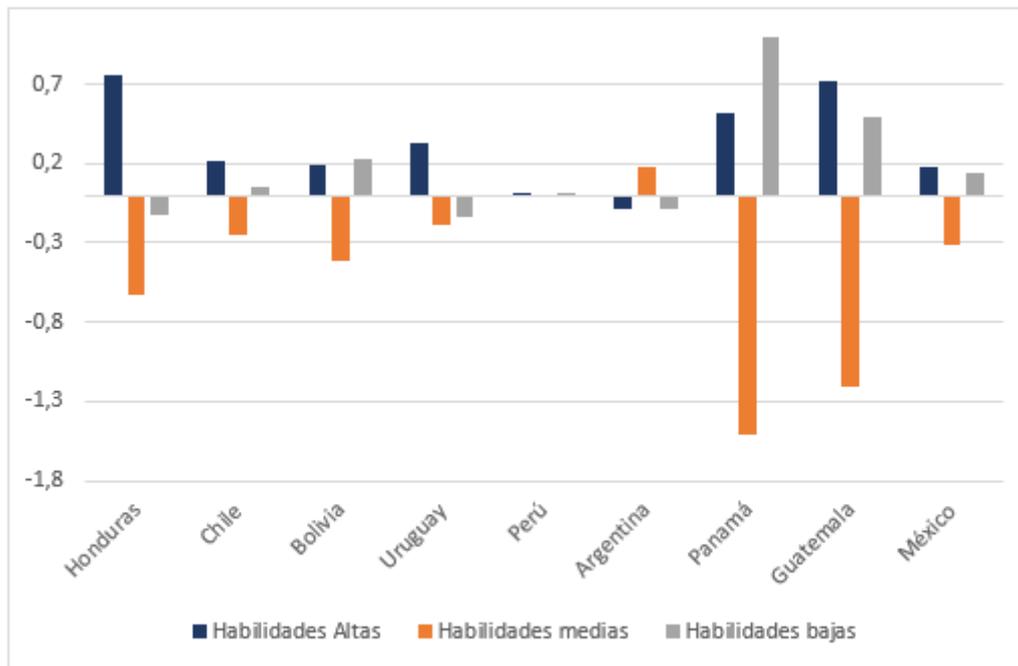


Fuente: Elaboración propia en base a World Development Report 2016: Digital Dividends

- **Polarización del mercado laboral:**

En línea con lo observado en países desarrollados, la proporción de empleo en las ocupaciones de alta calificación va en aumento, al igual que en las ocupaciones poco calificadas y el porcentaje de empleo en ocupaciones de capacitación media, disminuye en la mayoría de los países en desarrollo para los que se dispone de dato. Como excepción podemos mencionar a Argentina, en donde la proporción de empleo en las capas medias aumentó. Esta situación se asocia y resulta aplicable a algunos países ricos en recursos naturales y exportadores de productos básicos que se traduce en un crecimiento en trabajo rutinario de nivel medio.

Gráfico 5: Variación promedio anual de la participación de las ocupaciones clasificadas por su nivel de capacidades requeridas



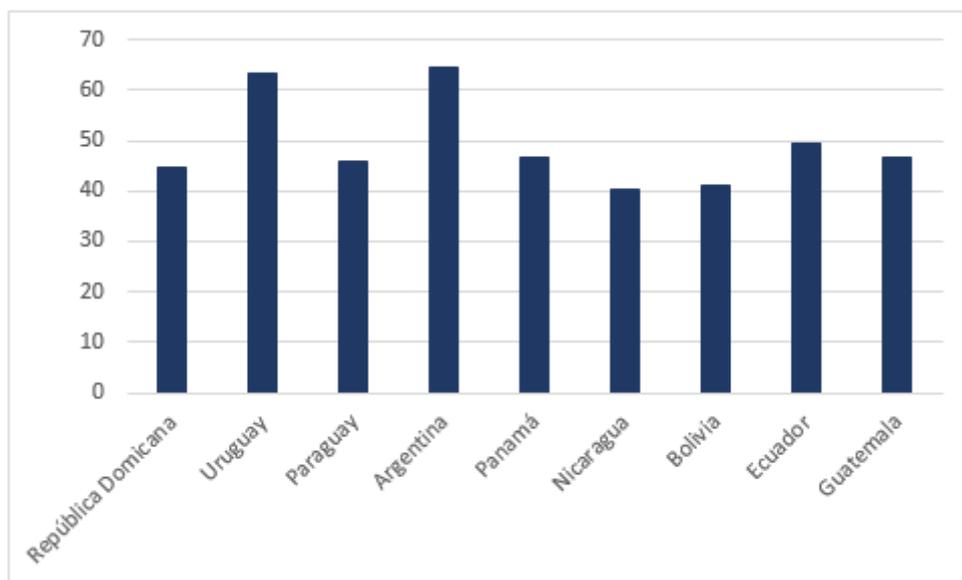
Fuente: Elaboración propia en base a World Development Report 2016: Digital Dividends

- **Proporción de ocupaciones que podrían automatizarse**

En el siguiente gráfico podemos observar que la proporción de ocupaciones que podrían automatizarse en la mayoría de los países en desarrollo es más significativa que en los más avanzados puesto que en estos últimos muchos de estos empleos ya han desaparecido. No obstante, a la hora de indicar qué proporción de ocupación pueden automatizarse en los países en desarrollo se puede diferenciar lo factible desde el punto de vista tecnológico y las limitaciones de tipo institucional que existen en dichos países. Desde el punto de vista tecnológico, las dos terceras partes de los empleos del mundo en desarrollo pueden automatizarse, sin embargo, dado que estos países se caracterizan por tener salarios bajos y presentan mayor lentitud para la incorporación de tecnología, los efectos de ese proceso podrían darse de manera más paulatina.

La mayoría de los países en desarrollo presentan escaso avance tecnológico: sólo aproximadamente un tercio de los empleos urbanos de una muestra de países en desarrollo utiliza algún tipo de TIC.

Gráfico 6: La proporción estimada del empleo susceptible de ser automatizada para cada uno de los países (Año 2015)



Fuente: Elaboración propia en base a World Development Report 2016: Digital Dividends

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se analizaron diversas investigaciones para determinar cuáles los efectos de la computarización del mercado laboral tanto en países desarrollados como en aquellos que se encuentran en desarrollo de manera tal de obtener un abordaje integral de este fenómeno. Con este objetivo, se realiza una revisión de literatura empírica que estudia los factores e impactos de la incorporación de la tecnología-tanto para las ocupaciones de tareas rutinarias como para aquellas que requieren de mayor nivel cognitivo- en las economías desarrolladas. A su vez, dada la escasa literatura del mismo tipo aplicado a los países en desarrollo, se utiliza el marco conceptual para analizar el caso de estos últimos.

Teniendo en cuenta cada caso analizado, se introduce un cuadro comparativo que ilustre los efectos de automatización del trabajo según se trate de economías avanzadas o no.

Los efectos de la computarización en países desarrollados y en desarrollo:

	Países desarrollados	Países en desarrollo
Demanda de habilidades	Decrece la demanda de trabajo rutinario, acentuándose a partir del año 2008. Mientras que crece la del tipo no rutinario cognitivo . Esto se traduce en más demanda de las habilidades cognitivas relacionadas con las tecnologías de información y comunicación, creatividad, resolución de problemas y pensamiento crítico.	El porcentaje más significativo se mantiene en los empleos rutinarios cognitivos que se encuentra entorno al 40-50% entre los años 2000 y 2011. Las ocupaciones no rutinarias manuales están en una proporción fluctuante del 30%. Por último, las ocupaciones de habilidades no rutinarias cognitivas representan la menor proporción del empleo pero manteniendo una tendencia creciente en el último tiempo.
Polarización mercado laboral	Se observa un crecimiento en las proporciones que representan las ocupaciones de alta y baja habilidad mientras que en todos los casos el	La proporción de empleo en las ocupaciones de alta calificación va en aumento, al igual que en las ocupaciones poco calificadas. En cambio, el porcentaje de empleo

	Países desarrollados	Países en desarrollo
	<p>porcentaje de los de habilidades medias cae. No obstante, la polarización del mercado laboral podría comenzar disminuir al incorporar nuevas tecnologías haciendo que los puestos de menores habilidades (y salarios) podría comenzar a reducirse en mayor proporción que los de habilidades medias.</p>	<p>en ocupaciones de capacitación media, disminuye en la mayoría de los países en desarrollo para los que se dispone de dato.</p>
Riesgo de automatización	<p>Tomando como referencia el modelo aplicado por Frey y Osborne (2013) se obtiene que el 47% de los empleos actuales de una economía avanzada posee un alto riesgo de automatizarse en las próximas décadas.</p>	<p>En el siguiente gráfico podemos observar que la proporción de ocupaciones que podrían automatizarse en la mayoría de los países en desarrollo es más significativa que en los más avanzados puesto que en estos últimos muchos de estos empleos ya han desaparecido.</p>
Limitantes/Particularidades del mercado que condicionan la automatización	<p>Resolución de limitaciones que presenta la tecnología actualmente para avanzar con la computarización del mercado laboral.</p>	<p>Problemáticas estructurales: baja productividad, bajos salario, alta informalidad laboral. Limitaciones para la adopción de nuevas tecnologías.</p>

Finalmente podemos decir que para ambos casos la computarización del mercado laboral es un fenómeno que se expande y afecta a la composición del mismo. Esto se refleja en el grado de polarización del mercado laboral, la demanda de habilidades y el riesgo creciente de automatización en países desarrollados y en desarrollo. No obstante, los impactos de este fenómeno dependerán de cómo los países superen sus principales factores limitantes basados tanto en los existentes cuellos de botella que posee la tecnología como las problemáticas estructurales de sus mercados laborales.

REFERENCIAS

Aedo, C., e I. Walker. 2012. Skills for the 21st Century in Latin America and the Caribbean. Washington, D.C.: Banco Mundial.

Autor, D. 2010. "The Polarization of Job Opportunities in the U.S. Labor Market, Implications for Employment and Earnings." MIT Department of Economics and National Bureau of Economic Research. Cambridge, MA: MIT. Freeman, R. B. 2014. "Who Owns the Robots Rules the World." Bonn: IZA.

Autor, D. and Dorn, D. (2013), 'The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market', *American Economic Review*, Vol. 103(5): 1553-1597.

Autor, D., Levy, F. and Murnane, R.J. (2003). The skill content of recent technological change: An empirical exploration. *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 118, no. 4, pp. 1279–1333.

Benedikt Frey, C. y M. A. Osborne. 2013. "The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerization?" Oxford, Reino Unido: Oxford Martin School.

BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2004. Se buscan buenos empleos: los mercados laborales en América Latina. Washington, D.C.: BID.

Goos M., Manning A., Salomonse A. (2014) Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring. *American Economic Review*

OIT (Organización Internacional del Trabajo). 2015b. Panorama Laboral América Latina y el Caribe 2015. Ginebra: OIT.

Organización Internacional del Trabajo & Organización Mundial del Comercio 2009: La globalización y el empleo en el sector informal en los países en desarrollo

World Bank. 2016. World Development Report 2016: Digital Dividends. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-0671-1. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO