

Desarrollo e impacto del campo de la Robótica en América Latina. Hacia una propuesta superadora en el contexto de la IV Revolución Industrial

Alejandro Hossian¹, Hernan Merlino² and Emanuel Alveal¹

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional del Neuquen, CP: Q8318, Plaza Huincul, Neuquen, Argentina.

² Universidad Nacional de Lanus, CP: Q1824, Lanus, Provincia de Buenos Aires, Argentina
Alejandrohossian@yahoo.com.ar
Maximilianoalveal@hotmail.com

Abstract. This paper is a contribution of the field of robotics and automation areas. Intelligent Technologies such as Expert Systems (ES), Artificial Neural Networks (ANN), Automatic Learning (AL) and Fuzzy Logic (FL) contributing to the progress of these areas. The first point of these paper is referred to the beginning and development of Robotics. The second point is related to the technological aspects related to the field of robotics. A third point focuses on the social aspects linked to the robotization process. And a fifth point that consists of an improvement proposal. All these points are developed based on the Fourth Industrial Revolution of 21st century..

Keywords: Technological agreement, education, robotization processes, intelligent technologies.

1 Aspectos Introductorios

La idea general que subyace en la organización de este manuscrito se sustenta en tres vertientes que se hallan estrechamente relacionadas. La primera vertiente coloca especial énfasis en lo que se refiere a los orígenes y posterior desarrollo que han experimentado los campos de la robótica y la automatización; partiendo desde una perspectiva global, para luego explorar el derrame que fue produciendo en la región latinoamericana. La segunda vertiente se focaliza en aquellos aspectos tecnológicos y de automatización que permiten conocer a un robot; tanto en términos de la prestaciones que es capaz de proporcionar, como de su capacidad de automatizar ciertos procesos industriales en diferentes áreas (manufactura, textiles, automotrices, control de calidad, etc). En este sentido, cabe mencionar el soporte tecnológico y de diseño que suministra a la robótica otros campos disciplinares, tales como las tecnologías inteligentes (TI) provenientes del campo de la inteligencia artificial (IA) y la mecatrónica [1]. La tercera vertiente constituye el foco central del presente artículo y pretende explorar los cambios

vertiginosos que se están produciendo en la vida de los habitantes de la región latinoamericana. En esta línea de análisis, cobra singular importancia la perspectiva revisio-nista que propone la primera vertiente, así como la tecnológica que propone la segunda; hasta llegar a la actualidad.

De esta manera, se estima que es posible comprender este presente y como se espera que sea el futuro próximo en términos del impacto social que ya se está produciendo en el marco de la Cuarta Revolución Industrial del siglo XXI¹. Este hecho constituye un verdadero desafío a los efectos de que los cambios que se están produciendo, e inevitablemente se producirán, redunden en una mejor calidad de vida de los ciudadanos. En este marco de análisis, no es difícil inferir que se está en presencia de un problema multidimensional en términos del impacto que produce en la población de la región. Estas dimensiones (algunas de las cuales se tratan de abordar en este artículo) se refieren a ciertas esferas como la educativa, económica y laboral entre otras [2]. Cabe señalar que la referencia al impacto social, está englobando un conjunto de dimensiones como las mencionadas. En virtud de estas consideraciones y de las características complejas que reviste esta situación, es que se intenta concluir con un esbozo de propuesta superadora que genere estructuras tecnológicas tendientes a promover una movilidad social ascendente en la región.

Las siguientes secciones se desarrollan con la idea de cubrir las características más distintivas de las tres vertientes mencionadas en esta sección (ver Fig. 1).

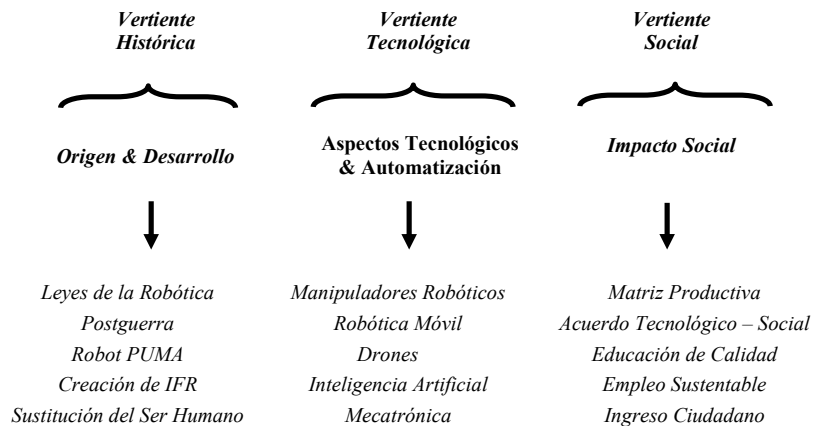


Fig. 1. Características distintivas de las vertientes histórica, tecnológica y social.

2 Aspectos históricos que contribuyeron al desarrollo de la robótica

Los orígenes del campo de la robótica se remontan a la historia de la humanidad en sintonía con la eterna pretensión humana de crear seres artificiales capaces de imitar las

¹ La *Cuarta Revolución Industrial* refiere a una forma de describir una serie de transformaciones; las cuales se espera ocurran en las esferas económica y social, entre otras.

funciones y los movimientos de los seres vivos. Desde un enfoque histórico y etimológico, el año 1921 marcó la existencia del término robótica, que tiene su origen en el idioma checo y se asocia a la palabra eslovaca *robota* que significa: fuerza de trabajo o servidumbre. Esta palabra fue introducida a la lengua inglesa en el año 1921 con la obra R.U.R. (Rossum's Universal Robots) de Karel Capek en la que unos esclavos (robot = esclavo) creados por el hombre se rebelan contra los humanos.

Cabe señalar la actividad desarrollada por los escritores del género literario de la ciencia ficción, quienes volvieron a darle vida al término robot, retomando así el mensaje de la obra de Karel Capek: "la dominación de la especie humana por seres hechos a su propia imagen". Es así que en el año 1926 Thea von Harbou escribe la novela *Metrópolis*, que luego fue llevada al cine por Fritz Lang, y en la cual la masa obrera perteneciente a una sociedad sumamente industrializada es manejada por un líder androide llamado María.

Posteriormente, el célebre escritor y divulgador científico americano de origen ruso Isaac Asimov (1920 – 1992), fue uno de los principales impulsores para el establecimiento del término robot. En octubre de 1942 publicó en la revista *Galaxy Science Fiction* una historia titulada "*The Caves of Seel*" en la cual establece las 3 leyes rigen la inteligencia de los robots, conocidas como *leyes de la robótica*:

- 1) *Un robot no puede dañar a un ser humano o, por omisión de acciones, permitir que éste sufra algún daño.*
- 2) *Un robot debe obedecer las órdenes recibidas de un ser humano, excepto cuando tales órdenes entren en conflicto con la primera ley.*
- 3) *Un robot debe proteger su propia existencia, siempre y cuando si tal protección no entra en conflicto con la primera o segunda ley.*

En 1985 en la novela "Robots e Imperio", Asimov enuncia una cuarta ley conocida como "Ley Cero", y que es una extrapolación de las anteriores. Dicha ley reza:

- 0) *"Un robot no puede perjudicar a la humanidad o, por falta de acción, permitir que la humanidad sufra daño".*

Desde un punto de vista estrictamente histórico, los antecedentes en el campo de la robótica se remontan al siglo I D. C, donde Herón de Alejandría diseñó una serie de dispositivos automáticos basados en poleas y palancas, los cuáles actuaban en función de la acción del agua, de chorros de vapor y de equilibrio de pesos. En el siglo VI, los bizantinos crearon un reloj operado por agua para una estatua de Hércules. En el siglo XIII, Roger Bacon [1214 – 1294] inventó una cabeza parlante y Alberto Magno [1204 – 1282] construyó un hombre de metal, inventos de gran significancia, dado que se pueden tomar como el inicio de lo que hoy se conoce como robot humanoide.

El objetivo principal de todas estas creaciones mecánicas era el de imitar el comportamiento de los seres vivos, resaltando el ingenio de muchas personas adelantadas para la época. Y si bien la finalidad de estas creaciones era el simple entretenimiento; la experiencia, las habilidades desarrolladas y las innovaciones que se fueron dando a raíz del desarrollo de todos estos mecanismos, constituyeron hitos sustanciales que dieron lugar a la llegada de la revolución industrial, y a la búsqueda de nuevas creaciones e inventos con objetivos de carácter productivo.

2.1 Desarrollo del campo de la robótica en el contexto del siglo XX

Los avances tecnológicos que se desarrollaron en la segunda mitad del siglo XX fueron sustanciales para el crecimiento de la robótica como disciplina; fundamentalmente, a partir del comienzo del período de la posguerra. Las máquinas herramientas de control numérico que se desarrollaron en los Estados Unidos de América a inicios de los años cincuenta significaron un importante avance tecnológico para su época. En 1953, el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) desarrolla una máquina prototipo de control numérico con estas características. Desarrollos como el control de posición y velocidad en los procesos industriales que tuvieron lugar en la segunda mitad del siglo XX, se suponen como el inicio de la robótica industrial moderna.

Cabe citar los siguientes hitos de relieve que se dieron en la segunda mitad del siglo XX: a) en 1957 se patenta el primer robot (patente emitida por el Reino Unido) por el inventor británico Cyril Walter Kenward. No obstante, fue a partir de los desarrollos llevados a cabo por George Devol, ingeniero estadounidense y autor de varias patentes, quien estableció las bases de lo que hoy se conoce como robot industrial moderno, b) a fines de los años sesenta comienzan las primeras investigaciones en robótica dentro de las universidades y se diseñan los primeros brazos manipuladores, como el robot PUMA (ver Fig. 2), c) en 1980 se crea en Estocolmo la Federación Internacional de Robótica (IFR), c) en 1997 el robot móvil Sojourner comienza a moverse sobre la superficie rocosa de Marte. Este robot recorre más de 100 metros durante 2000 horas y es teleoperado desde la Tierra; lo cual obligó a que el dispositivo contara con un cierto grado de autonomía.

2.2 Progresos de la robótica a fines del siglo XX y comienzos del siglo XXI

A fines de los años setenta, la robótica amplió su campo de acción con respecto a donde se venía desarrollando (ámbitos industriales y de investigación; comenzando a incursionar en otros ambientes como el espacial o el submarino utilizando, fundamentalmente, tecnologías de teleoperación [3].



Fig. 2. Robot PUMA 560 en operación.

En este sentido, cabe mencionar los vehículos submarinos desarrollados por la marina estadounidense a comienzos de los años sesenta, así como también las sondas a la Luna y Marte a principios de los setenta y el brazo robótico a bordo de los transbordadores

espaciales norteamericanos en el año 1981. En los años noventa, la empresa Honda presentó el robot humanoide P2, un robot bípedo con apariencia de un hombre metido en un traje espacial. Este robot desarrolló caminatas en forma independiente y hasta pudo subir escaleras.

En el transcurso de la última mitad del siglo XX y principios del XXI, las sucesivas investigaciones y desarrollos en el campo originaron que los robots ocupen posiciones en una variada gama de sectores productivos. En este sentido se puede afirmar, que en muchos casos los robots están en condiciones de reemplazar al ser humano en tareas de carácter repetitivas y peligrosas, pudiéndose adaptar a los cambios de producción que requiere la exigente y continua demanda del mercado.

Los desarrollos actuales en el campo están focalizados en gran parte a dotar a los robots de una mayor movilidad, habilidad y autonomía en su accionar, así como también a ser capaces de mantener una elevada interacción con los seres humanos. Actualmente siguen teniendo especial preponderancia los robots de tipo industrial, cuyas principales prestaciones tienen lugar en áreas tales como ensamblado, máquinas herramientas, soldadura, mecanización, montaje, etc. No obstante, se tienen otra clase de aplicaciones que no estén encuadradas en las estrictamente industriales, entre las cuáles cabe mencionar las siguientes:

- **Robots para aplicaciones submarinas y subterráneas:** instalación de cables de telefonía submarinos y subterráneos, inspección de tuberías, etc.
- **Robots espaciales:** brazos para lanzamiento y recuperación de satélites, construcción y mantenimiento de hardware en el espacio, etc.
- **Robots para tareas médicas:** cirugías, asistencia a discapacitados y enfermería.
- **Robots para aplicaciones agrícolas** tales como siembra y cosecha, etc.

Estos progresos, demuestran que los sistemas robotizados se están expandiendo a las más diversas esferas y disciplinas. En tal sentido, es que suscita especial interés procurar hallar un adecuado equilibrio entre los avances que se producen desde el punto de vista industrial y tecnológico y el impacto que ya se vislumbra en materia de empleo y necesidades educativas; en especial en la región de América Latina y El Caribe.

3 Aspectos tecnológicos vinculados al campo de la robótica y la automatización

El núcleo central de esta sección consiste en presentar los aspectos tecnológicos que caracterizan un dispositivo robótico; como así también aquellos que están relacionados de manera estrecha con el campo, y contribuyen a la monitorización y automatización de los procesos en los que intervienen estos dispositivos.

Si bien no es sencillo brindar un panorama general desde el punto de vista técnico que sea lo suficientemente descriptivo acerca de estos dispositivos; las siguientes subsecciones se focalizan en este objetivo. Se comienza con las distintas definiciones y clasificaciones de los distintos tipos de robots, así como una breve descripción del aporte que realizan las tecnologías inteligentes pertenecientes al campo de la inteligencia artificial. En este sentido, se exhiben algunas características de los robots móviles en términos de las prestaciones que desarrollan, sobre todo teniendo en cuenta aquellos

aspectos relacionados con su autonomía [4]. De esta forma, es posible trazar diferencias significativas con los robots industriales tradicionales (o también llamados manipuladores robóticos industriales); los cuáles por lo general, desarrollan sus tareas en células de trabajo fijas y carecen de autonomía.

3.1 Definición del término robot y clasificación de la robótica

El amplio espectro de robots que operan en el mundo, hace que no sea sencillo definir el término “robot” con la adecuada generalidad. Existen muchas definiciones de robot en diversas enciclopedias, y que no se destacan por su carácter técnico. Por citar dos:

Enciclopedia Británica: Máquina operada automáticamente que cambia el esfuerzo humano, sin necesidad de tener apariencia o desarrollar sus actividades humanas.

Diccionario de la Real Academia Española: Máquina o ingenio programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas.

Estas definiciones de carácter general no alcanzan a cubrir el amplio espectro de sistemas que hoy se entienden como robot. Por tal razón, es necesario agregar un adjetivo adicional al término, que refiera a sus características y área de aplicación. Dado que no es sencillo dar una definición de robot industrial, una de las más aceptadas es la proporcionada por la IFR, la cuál establece distinción entre robot industrial de manipulación y otros tipos de robots:

“Por robot industrial de manipulación se entiende una maquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para realizar trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento”.

Se acepta que robot industrial constituye un brazo mecánico con capacidad de manipulación y un control de cierta complejidad. Por su parte, un sistema robotizado es un concepto más amplio que incluye a todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano; pudiendo incorporar a uno o varios robots, siendo esto último lo de uso más frecuente².

Si bien se puede clasificar al campo de la robótica en base a distintos criterios (campo de aplicación, número de ejes, etc); en este artículo se presenta una clasificación en base a la generación a la que pertenece. Cuando ocurre un “hito” determinado que da lugar a un avance tecnológico en el campo, se tiene una transición entre generaciones. A tal efecto, la tabla 1 ilustra la transición entre las 5 (cinco) generaciones que la diferente literatura asigna a los robots industriales [5].

² La implementación progresiva de estos sistemas robotizados es una de los principales focos de discusión en el plano social y en la esfera del empleo; lo que se trata en la siguiente sección.

Primera Generación	<i>Robots manipuladores robóticos que repiten secuencialmente las tareas que tienen programadas; sin considerar los cambios que ocurren en su ambiente de trabajo. Sistema de control en lazo abierto.</i>
Segunda Generación	<i>Robots de aprendizaje que considera las variaciones que ocurren en su entorno de trabajo; repitiendo una secuencia de movimientos que fueron ejecutados por un operador humano. Sistema de control en lazo cerrado con sensores que le permiten levantar información del ambiente.</i>
Tercera Generación	<i>Robots con control sensorizado; siendo el controlador una computadora que ejecuta las órdenes de un programa y las envía al robot para que realice los movimientos necesarios. Los sensores miden el ambiente y van cambiando su estrategia de control</i>
Cuarta Generación	<i>Robots inteligentes cuyos sensores envían información a la computadora de control sobre el estado del proceso. Sus extensiones sensoriales les permiten comprender sus acciones y el mundo que los rodea; en función del concepto de “modelo del mundo” de su propia conducta y del ambiente en el que realizan sus tareas.</i>
Quinta Generación	<i>Esta generación se encuentra en pleno desarrollo y basa su acción, principalmente en modelos conductuales establecidos.</i>

Tabla 1. Clasificación de los robots en función de las generaciones.

3.2 Aspectos generales de la robótica móvil

Para comprender la inserción de los robots móviles en los diferentes entornos de operación, si se piensa en un esquema clásico de un entorno industrial equipado con sistemas robóticos, los distintos elementos con los que interactúa el robot se encuentran dentro (o en las cercanías) de su espacio de trabajo. En una planta automotriz, el chasis del vehículo se desplaza por medio de guías que va pasando a través de los diferentes robots fijos, que realizan tareas como soldar, ensamblar, pintar, etc. Se asume que el robot se encuentra anclado en su “célula de trabajo” para realizar su labor. Conforme los ambientes industriales fueron siendo más dinámicos y complejos, fue necesario dotar a estos entornos de plataformas robóticas móviles que optimicen su desempeño. Entre las muchas aplicaciones de estos sistemas móviles se tienen: vigilancia, limpieza de tanques y tuberías y desactivación de explosivos. En lo que se refiere al impacto tecnológico – social, se distinguen dos aspectos relevantes que presentan estos dispositivos en estos rangos de aplicaciones:

1. Reducción en los costos de operación: en tareas como monitoreo y vigilancia, donde se necesita la presencia de un operador humano por lapsos prolongados de tiempo, es más eficiente la presencia de un robot móvil.
2. Reemplazo del operador humano: en tareas peligrosas para ser realizadas por un operador humano; como las de limpieza de silos o extinción de incendios, se prefiere que las mismas las desarrollen estos robots móviles.

El desarrollo de la robótica móvil tiene su raíz principal en la necesidad de extender el campo de aplicación de la robótica clásica, de manera que el ambiente de trabajo del robot no se circunscriba a una célula fija. De esta forma, se logra ampliar considerablemente el radio de acción del dispositivo [6].

3.3 Aporte de las tecnologías inteligentes al campo de la robótica móvil

Las tecnologías inteligentes provenientes de campo de la inteligencia artificial, constituyen un aporte sustancial en términos de dotar de mayor autonomía a los dispositivos robóticos móviles. Entre las más significativas se pueden citar: las redes neuronales artificiales, el aprendizaje automático y la lógica difusa; entre otras.

Este tópico puede abordarse desde dos perspectivas: 1) desde el grado de autonomía que posee el robot y 2) desde su arquitectura de control. Estos aspectos están estrechamente relacionados, y las tecnologías inteligentes que el especialista decida implementar, deben ser las adecuadas conforme a un análisis de estas dos perspectivas en forma encadenada. Con respecto a su autonomía, se dice que un robot es autónomo en la medida que pueda reaccionar ante situaciones que no fueron previstas en la programación de su control y sin ninguna supervisión externa. Si se considera el caso de un robot de una cadena de montaje, al que si le modificamos alguna condición de su entorno de operación (se le cambia el lugar de una pieza a soldar), el robot tendrá dificultades en términos de su performance. Estos robots operan en células de trabajo fijas y en entornos estructurados³; por lo que se programan para que realicen ciertas tareas, careciendo de autonomía para realizar otras que no fueron contempladas en su arquitectura de diseño. Por el contrario, en caso de que las tareas del robot no estén tan predefinidas y deba desenvolverse en un entorno cambiante en el tiempo y no totalmente conocido por el diseñador, no es posible que el robot esté totalmente preprogramado. En estos casos se considera la segunda perspectiva; dado que es sustancial que el sistema posea una arquitectura cognitiva de control que le permita establecer las vinculaciones correspondientes entre lo que el robot percibe del ambiente (entradas capturadas por su sistema sensorial) y las acciones que el realiza sobre el mismo (salidas de los actuadores) [7]. En otras palabras, es preciso que el robot posea un mayor grado de autonomía. En este sentido, la arquitectura de control determina las capacidades de autonomía del robot; y la capacidad del mismo para desempeñarse en ambientes de distinta complejidad.

Las arquitecturas de control se pueden clasificar por sus características reactivas. Una arquitectura de control totalmente reactiva, sensa el entorno y actúa sobre él sin realizar procesos de planificación. Aquí es adecuado entrenar una red neuronal que le permita al robot aprender el entorno, para desempeñarse de manera aceptable en su fase de operación. Un ambiente de trabajo más complejo, sugiere una arquitectura de control deliberativa. Aquí es adecuado implementar una tecnología inteligente como aprendizaje automático o sistema de control difuso para complementar la performance de una red neuronal clásica. Las arquitecturas reactivas son más veloces que las deliberativas en el procesamiento de la información; dado que la misma se procesa en forma “*masiva y paralela*”, tal como lo hace una red neuronal. No obstante, presentan limitaciones cuando el robot debe realizar tareas que requieren planificación. Una opción de interés que le da mayor cobertura y flexibilidad al robot en términos de su desempeño, consiste en la implementación de una arquitectura de control de tipo “híbrido, las cuales ofrecen un compromiso entre las puramente reactivas y las orientadas a planes (ver Fig. 3).

³ Su configuración es predecible sobre que objetos conforman el ambiente de trabajo; su forma y posición. No presentan cambios o estos se pueden formalizar en términos computacionales.

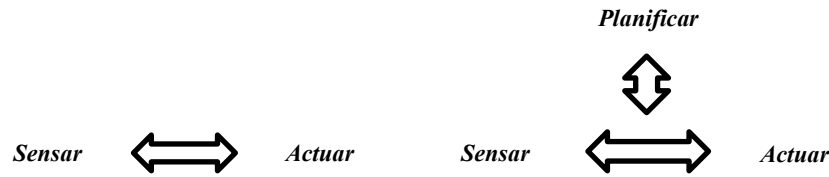


Fig. 3. Esquemas de arquitecturas de control reactiva (izquierda) e híbrida (derecha).

Las arquitecturas híbridas poseen un módulo de planificación que describe las acciones del robot en función de sus objetivos globales. Estos planes son secuencias de acciones que se ejecutan por medio de módulos programados según el enfoque reactivo. Ambas capas se comunican para realizar las acciones; las arquitecturas híbridas usan la planificación permitiendo la reactividad en las capas inferiores.

4 Aspectos de carácter social vinculados al proceso de robotización y automatización para América Latina

La Cuarta Revolución Industrial del siglo XXI genera cambios estructurales en el comercio y el empleo como ha sucedido con las revoluciones tecnológicas de los siglos XIX y XX. En la medida en que los avances tecnológicos son cada vez más veloces y acentuados; las inquietudes sobre como estos avances afectan el mercado del empleo y el comercio, se profundizan. Algunos interrogantes claves que cabe formularse son: ¿se quedarán los robots con nuestros trabajos?, ¿cuáles son las especialidades que son más susceptibles de ser automatizadas?, ¿cómo debe prepararse el ciudadano latinoamericano para una adecuada inserción en el mercado laboral del futuro? y ¿qué rol juega el estado para mejorar el trabajo futuro en la región? Las repuestas no son sencillas de responder y en línea con una mirada regional, se intenta realizar un análisis global del escenario sobre el cual descansan estos interrogantes.

La región latinoamericana se ve atravesada por una disrupción tecnológica donde los modelos tradicionales todavía perduran y los innovadores aún no terminan de implantarse. Por tal razón, es preciso reflexionar sobre la necesidad de reconvertir la matriz productiva en el marco de la Cuarta Revolución Industrial; como así también trabajar fuertemente a fin de garantizar que la metamorfosis tecnológica se oriente hacia la equidad social en la región [8]. Para consensuar una propuesta de carácter global que sea capaz de enfrentar estos desafíos, es menester que se conjuguen esfuerzos públicos y privados en una arquitectura institucional que sea inclusiva [9].

A continuación se exponen **tres dimensiones** tendientes a amortiguar el impacto que los cambios tecnológicos producen en la población de la región. No obstante estas dimensiones poseen muchos puntos de contacto; se trata de analizarlos en forma compacta, a los efectos de que su estudio contribuya a la concreción de una propuesta que contribuya a motorizar el crecimiento de la región.

4.1 Dimensión Comercial y Crecimiento

En una primera mirada global de esta dimensión, la región debe considerar cuál será su estrategia de desarrollo e integración en el mediano y largo plazo. Es necesario que los acuerdos comerciales que se establezcan se sintonicen con este escenario tecnológico, dado que se hallan rezagadas frente a los vertiginosos progresos de los cambios tecnológicos. En este marco, es preciso que la región latinoamericana sea más potente en términos de su conectividad con el resto del globo, facilitando el acceso a nuevos mercados e incrementando el comercio dentro de la región y con el resto del planeta. La puesta en funcionamiento de estos nuevos acuerdos debe poseer un carácter mixto; ya sea en el plano digital como físico. Es preciso comprender, que el mundo se orienta hacia un nuevo paradigma de conexión entre las ciudades; entendiendo que el regionalismo constituye una potente herramienta para incrementar el comercio con naciones vecinas. La región latinoamericana se halla en inmejorables condiciones al ser pocos países con aristas históricas y culturales similares [10].

Mucho se debate acerca del impacto tecnológico de los acuerdos comerciales en la era de la robotización y automatización; sobre todo, en las naciones de la región. Así es que se coloca especial énfasis en la necesidad de que estos acuerdos posean cláusulas que trasciendan los aspectos puramente arancelarios. Es importante que se incluyan aspectos relativos a la transferencia de tecnología e innovación, inversiones y modelos ambientales que hagan que el comercio multilateral sea más fluido.

Ahora bien, como otra cara de la moneda y en el caso particular de las naciones de la región, se debe tener especial cuidado de que estos acuerdos no redunden en una “*primarización*” de la economía. Este hecho puede tener lugar si se incrementan los incentivos que ocasionen una suba de ventas de materias primas, con lo cual se tiene una escasa incorporación de tecnología. Así es que existen modelos que exploran los beneficios reportados para las naciones firmantes; en especial, en materia de aquellos factores vinculados con la transferencia de tecnología [11]. Si bien son muchas las variables a considerar para lograr una implementación exitosa de estos acuerdos, de las investigaciones realizadas se infiere que aquellas naciones que establecieron acuerdos con transferencia de tecnología, han conseguido elevar el nivel de sus exportaciones con contenido tecnológico. No obstante, es preciso que haya una correcta gestión de gobierno para que la letra del acuerdo se implemente correctamente, a partir de políticas efectivas de mediano y largo plazo.

En lo que respecta al impacto que los cambios tecnológicos tienen sobre el crecimiento económico de la región; es obvio que las consideraciones expuestas están estrechamente vinculadas con el mismo. Acuerdos ventajosos en materia de avances en innovación tecnológica y crecimiento en las exportaciones de alto valor agregado, es indudable que contribuyen a dicho crecimiento. A su vez, este crecimiento puede verse afectado si los procesos de robotización, automatización y economía digital impactan negativamente en el mercado laboral; generando mayor inequidad de la demanda.

4.2 Dimensión Mercado Laboral

En el marco de esta Cuarta Revolución Industrial del siglo XXI la automatización del empleo da lugar a ciertos interrogantes, cuyas respuestas aún no se pueden establecer

con claridad. Existen un amplio debate sobre las métricas correctas que permiten predecir el riesgo de automatización en términos de cómo afecta el mercado laboral. Esto da lugar a pronósticos optimistas (asignan probabilidades del orden de un dígito al diferenciar ocupaciones de trabajos específicos) y pesimistas (los riesgos son del orden de más del 80% en ciertos sectores y países [12]). Entre los primeros está la Federación Internacional de Robótica, que estima que por cada nuevo empleo tecnológico se crean cuatro puestos de trabajo. En esta misma línea, este organismo asegura que este factor multiplicador hace que los países con mayor densidad de robots en el planeta, como son Alemania, Japón y Corea del Sur, posean los índices más bajos de desempleo. Estas visiones también afirman que el proceso de automatización contribuye a cerrar brechas de inequidad social y crear nuevas oportunidades de negocios. Entre los segundos [13] se sostiene que la automatización del trabajo amenaza con acelerar el desempleo tecnológico; ciertamente, una porción considerable de las exportaciones y del empleo de los países de la región se vinculan a actividades con alto riesgo de automatización (agentes de viaje, traductores, manufactura intensiva en mano de obra y servicios contables y legales). Asimismo, en lo que respecta al comercio e integración, este proceso estimula la relocalización de empresas en virtud de poder sustituir personas trabajadoras por robots; con lo cual se estima que este proceso impacta en la reducción de accidentes, en mejores condiciones laborales, en una baja en la cantidad de empleos de riesgo y en el crecimiento de sectores claves de la economía latinoamericana.

Si bien no es sencillo tomar partido por una u otra línea de pensamiento, el impacto que genera el riesgo del proceso de robotización y automatización en el sector del empleo no deja de ser preocupante. En virtud de esta descripción, se estima que muchas ocupaciones se van a perder y otras nuevas surgirán. Y así como se espera que emerjan nuevas clases de empleo; es posible que también se tengan distintas formas de sometimiento, dada la ausencia de normas que regulen y legalicen el vínculo entre empleados y empleadores. En general, estas situaciones siempre afectan a los sectores más vulnerables de la sociedad, en virtud de la inequidad que genera. En otras palabras, se justifica el temor a que este proceso de robotización y automatización estimulen cada vez más relaciones indirectas y con teletrabajo, con consecuencias muy diferentes a las que proporcionaban los trabajos tradicionales.

Por otra parte y volviendo al escenario del comercio y la economía, no menos preocupante es el escenario que se vislumbra en materia comercial y de crecimiento económico. Bien es sabido que la caída y deterioro del empleo va erosionando el poder adquisitivo de la población; habida cuenta de que el trabajo remunerado continua siendo el principal mecanismo que motoriza el consumo. En consecuencia, se corre serio riesgo de que una porción importante de la población no esté en condiciones de impulsar la demanda y los servicios que proporciona la economía. Bien se sabe que la activación de los mercados no se da solo por el dinero, sino también por la demanda por unidad⁴. Esta concentración del poder de compra en unos pocos consumidores, a la larga produce un deterioro del mercado interno y socava el crecimiento económico.

⁴ Una distribución equitativa del poder adquisitivo entre los consumidores es vital en una economía de mercado. Por caso, un consumidor de alto poder de compra puede adquirir un costoso automóvil (quizá 10), pero no miles, como si sucedería si se expandiera la demanda.

Por último, es importante señalar que si bien se espera que los trabajos más vulnerables al proceso de robotización y automatización serían aquellos de características más rutinarias y operativas, como manufactura intensiva de mano de obra. Otras actividades más sofisticadas realizadas por abogados o contables, no son inmunes a este peligro. Las predicciones extraídas de los datos son utilizadas cada vez más para reemplazar cualidades humanas; tales como el juicio y la experiencia.

En síntesis, si este proceso de desempleo tecnológico se continúa acentuando, se puede esperar un escenario muy sombrío si los gobiernos de la región no toman medidas tendientes a destrabar este nudo de desigualdad en que se encuentra la región (ver Fig. 4). Hecho paradójico si los hay, si se considera la riqueza que produce la región, y que es capaz de producir, para garantizar una vida digna a la población.

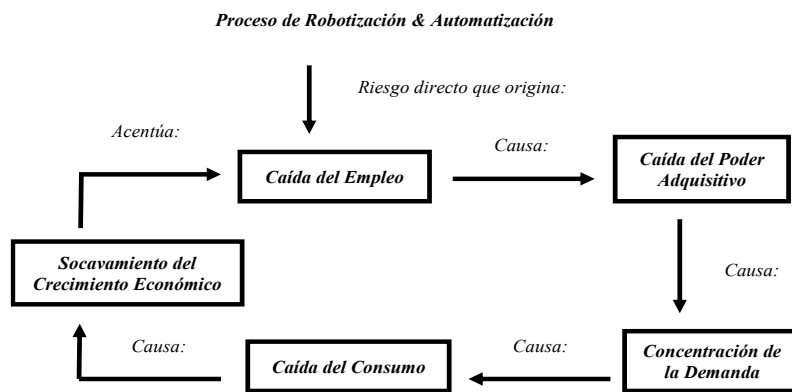


Fig. 4. Escenario posible que origina el proceso robotización & automatización.

4.3 Dimensión Educativa

Esta dimensión es crítica de acuerdo al escenario descrito en las dos dimensiones anteriores. En este sentido, es preciso brindar a la población herramientas que le permitan insertarse en un mercado laboral cada vez más sofisticado y competitivo.

Por consiguiente, es menester poder desarrollar en la región un sistema educativo que fomente la capacidad de crear y pensar distinto; cualidades que permitirán a los trabajadores una mejor transición hacia nuevas ocupaciones. Si se acepta que esta disrupción tecnológica traerá aparejado que dejen de existir muchas actividades, y que a la vez, surgirán nuevas profesiones que no existían anteriormente, es imperioso que los sistemas educativos se coloquen en línea con estas nuevas necesidades. Por tal razón, es muy importante que nuestros sistemas educativos atiendan la formación en campos como robótica, inteligencia artificial, ciencia de los materiales, programación y desarrollo de software, entre otros. En esta línea de análisis, es importante que los trabajadores adquieran capacidades tecnológicas que le permitan interactuar con robots de forma cotidiana en marcos de trabajo que se darán con asiduidad [14].

5 Hacia una propuesta superadora que promueva una movilidad social ascendente en el marco de la IV Revolución Industrial para América Latina

Es evidente que el mundo, pero particularmente la región latinoamericana, se encuentra ante un escenario de alta vulnerabilidad; donde es preciso que se coloque al ser humano en el centro de la escena, en el marco de un proceso de integración inteligente para la región con economías más sólidas e inclusivas que permitan crear empleo formal y de calidad; y claro está, en sintonía con los cambios tecnológicos.

En esta sección se esboza un intento de propuesta superadora para la región en base a tres ejes estratégicos; que claro está, no deberían ser los únicos:

- I) *Reconversión de la matriz productiva para América Latina y el Caribe*: si se acepta que nuestra región es una de las que presenta mayor desigualdad social en el mundo, es menester que la reconversión de esta matriz productiva genere estructuras tecnológicas tendientes a promover una movilidad social ascendente en la región. Esta reconversión debe tener en cuenta que la automatización brinda ciertos beneficios como: reducción de los trabajos de riesgo, eleva la productividad y la demanda de insumos intermedios favoreciendo la integración de las cadenas globales de valor y baja de costos, entre otros. Ahora, para que estos progresos garanticen una distribución equitativa de los dividendos tecnológicos que se obtengan, es preciso contar con políticas claras que promuevan las pequeñas y medianas empresas, diversificar las exportaciones, mejorar las cadenas de valor y los estándares ambientales, seguridad alimentaria y nuevas reglas de cobotización⁵.
- II) *Concretar un acuerdo tecnológico – social para América Latina y el Caribe*: el escenario tecnológico hace que el sector empresario reconsidere sus planes de negocio y de producción; generando vaivenes en el mercado del empleo dando lugar a una marcada polarización del mismo. En este sentido, la frenética dinámica de este escenario promueve que las actividades de calificación alta y baja sufran procesos de expansión en la línea de tiempo, mientras que las de calificación intermedia se contraen. Este acuerdo tecnológico – social requiere considerar diversas aristas tendientes a conseguir una adecuada cohesión social. Algunas son:
 - Un rol activo de los sectores del trabajo, gobierno y empresarial; que priorice la impronta social con una distribución equitativa de los dividendos digitales y tecnológicos, tal como sucedió en países como Alemania, Reino Unido y Francia con acuerdos multisectoriales [15].
 - Reflexionar sobre la implementación de un “Ingreso Ciudadano” o impuestos a los robots para la región; como medidas tendientes a paliar los efectos de esta disrupción tecnológica. Este ingreso constituye un instrumento que le permitiría al ciudadano poseer un umbral de ingresos que le cubra sus necesidades básicas
 - Reflexionar sobre la creación de un fondo de sustentabilidad para la región; cuya financiación se sustente con en términos porcentuales de cada PBI (Producto

⁵ Convergencia en un mismo entorno de máquinas inteligentes, o robots, con seres humanos. Se estima que en la próxima década, los trabajadores dedicarán más tiempo abordando tareas complejas y menos a las rutinarias automatizables. Esto implica un gran desafío hacia el futuro.

Bruto Interno que refiere a la riqueza que puede generar ese país), y en función del tamaño de la economía de cada nación. Este fondo debe ser manejado con la transparencia que merece el caso y para solventar el ingreso ciudadano [16].

III) *Fomentar el acceso a una educación de calidad para América Latina y el Caribe*: todo lo expuesto en los dos puntos anteriores, tiene sustento si es posible desarrollar en la región un sistema educativo que fomente la capacidad de crear y pensar distinto; cualidades que permitirán a los trabajadores una mejor transición hacia nuevas ocupaciones. La educación venidera debe considerar las nuevas exigencias que ya está demandando el sector del empleo; donde los trabajadores deben abordar nuevas habilidades para abordar tareas de mayor complejidad.

A continuación, se presenta un esquema que intenta ilustrar las características principales que conforman esta propuesta; cuyo objetivo final es la creación de trabajos que sean sustentables, a la vez que promover la movilidad ascendente para los habitantes de la región latinoamericana (ver Fig. 5).

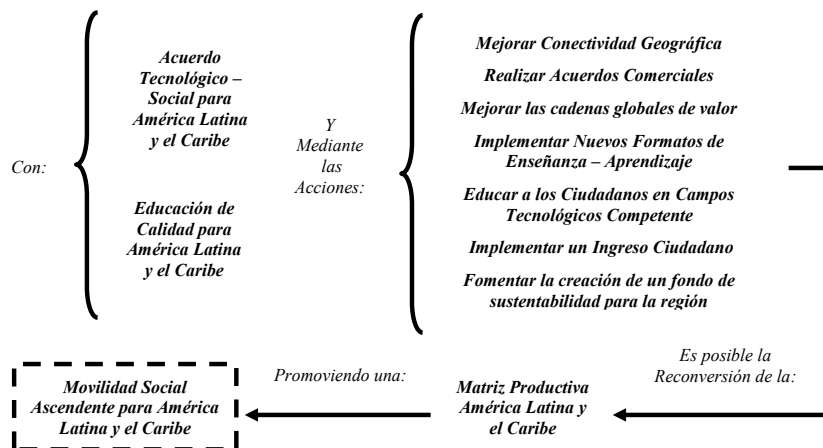


Fig. 5. Esquema de la propuesta superadora para América Latina y El Caribe.

6 Conclusiones & Futuras Líneas de Investigación

En la primera sección se exhiben las conclusiones principales del presente artículo de investigación; y en la segunda, se esbozan algunas futuras líneas a explorar.

6.1 Conclusiones

Las tres vertientes Histórica, Tecnológica y Social constituyen los principales soportes de este trabajo de investigación, sobre las cuales descansan los desarrollos de los tres aspectos básicos vinculados al campo de la robótica (histórico, tecnológico y social). Se presenta una propuesta superadora tendiente a promover una movilidad social ascendente en la región, con una fuerte impronta colocada en la matriz productiva de la región, un acuerdo tecnológico - social y educación de calidad.

6.2 Futuras Líneas de Investigación

Se estima que la principal línea a abordar consiste en pulir y completar esta propuesta superadora. En este sentido, cabe analizar ciertas líneas de financiación como impuestos a robots y la creación de un fondo de sustentabilidad con aportes proporcionales al PBI de cada nación; como así también contemplar una pequeña alícuota de los acuerdos comerciales que se establezcan. Otra dimensión sustancial a analizar es la sanitaria; a efectos de asegurar coberturas de salud pública y de calidad en la región. En este sentido, el fenómeno COVID 19 deja en descubierto numerosas falencias en materia de política de salud, que se deben contemplar urgentemente.

7 Referencias

1. Reyes Cortes, F.: Control de robots manipuladores. (2011).
2. Beliz, G., Chelala, S. "El ADN de la Integración regional". Nota Técnica No. IDB-TN-1120. BID-INTAL, disponible en <https://publications.iadb.org> (2016).
3. Barrientos, A., Pañin, L. F., Balaguer, C., Araci, R: Fundamentos de robotica. 2da edn. McGrawHill, España (2007).
4. Santos, J.: Evolucion artificial y robotica autónoma. 2da edn., RA-MA, España (2004).
5. Frey, C. y Osborne, M. Technology at Work v2.0: The Future Is Not What It Used to Be. University of Oxford. 2016.
6. Hossian, A., Olivera, V., Cejas, L.: Analisis de conductas de vehiculos roboticos en entornos estructurados mediante la aplicacion de tecnologías inteligentes.18 Convencion científica de ingeniería y arquitectura. La Habana, Cuba. 2016
7. Hossian, A., Olivera, V., Cejas, L., Sapag, L.: Estudio del comportamiento de robots móviles autónomos en entornos de navegación estructurados mediante la aplicación de tecnologías inteligentes.12 Congreso interamericano de computación aplicada a la industria de procesos. Lima, Peru. 2016
8. Arntz, M., Gregory, T. y Zierahn, U. "The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis". OECD Social, Employment and Migration WorkingPapers No.189. París: OECD Publishing. 2016.
9. Bartlett, J. The Dark Net. Inside the Digital Underworld. Nueva York: Melville House. 2015
10. Cadena, A., Lund, S., Buhin, J., Manyika, J. El salto de productividad. Robotlucion: El futuro del trabajo en la integración 4.0 de America Latina. BID. 2017.
11. Colvin, K. F., Champaign, J., Liu, A. et al. 2014. "Learning in an Introductory Physics MOOC: All Cohorts Learn Equally, Including an On-Campus Class". The International Review of Research in Open and Distance Learning. 15 (4): 263-283.
12. Brynjolfsson, E. y McAfee, A. 2014. The Second Machine Age. Nueva York y Londres: Norton & Company.
13. Pagés, C., Ripani, L. El empleo de la cuarta revolución industrial. Robotlucion: El futuro del trabajo en la integración 4.0 de America Latina. BID. 2017.
14. Ford, M. 2015. Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless Future. Nueva York: Basic Books.
15. Aumann, R. La clave pasa por la educación y el sistema de incentivos. Robotlucion: El futuro del trabajo en la integración 4.0 de America Latina. BID. 2017.
16. Calvo, C. ¿Hacia un ingreso ciudadano universal? Robotlucion: El futuro del trabajo en la integración 4.0 de America Latina. BID. 2017.