



VISIÓN DE DESARROLLO PRODUCTIVO PARA COLOMBIA

LAS TECNOLOGÍAS DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL 4.0 EN EL DESARROLLO DE SECTORES ESTRATÉGICOS

Olga Lucía Quintero Montoya

Enero de 2022

**FRIEDRICH
EBERT
STIFTUNG**

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
2	MARCO TEÓRICO SOBRE CAMBIO ESTRUCTURAL, INDUSTRIAS DIGITALES 4.0 E IMPULSO DE NUEVAS EXPORTACIONES	6
2.1	Cambio estructural	6
2.2	Industrias digitales	8
2.3	Impulso de nuevas exportaciones.....	8
3	PANORAMA DE LAS INDUSTRIAS 4.0	9
4	LAS INDUSTRIAS 4.0 EN SECTORES ESPECÍFICOS DE INTERÉS PARA COLOMBIA	13
4.1	Agricultura	13
4.2	Industria de alimentos	14
4.3	Industrias y servicios de salud	15
4.4	Industria naranja 4.0.....	16
4.5	Otras industrias de interés para Colombia.....	18
4.6	Creación de pymes y <i>start ups</i>	21
5	PROPUESTA PARA COLOMBIA	23
	REFERENCIAS	27

1

INTRODUCCIÓN

Cuando decidí aceptar la invitación a escribir este texto, estaba motivada en compartir mi experiencia profesional con un público general que pudiera leer las perspectivas que una ingeniera, científica y matemática pudiera dar sobre las tecnologías de la Revolución industrial.

A medida que fui elaborando el hilo conductor de este capítulo y adentrándome en las reflexiones del contexto nacional e internacional en una época pospandémica, ha sido cada vez más enriquecedor reunir elementos que permitan hacer que una visión técnico-científica con impacto económico reúna los aspectos sociales que mi función como pensadora y profesora universitaria requiere de cara a la sociedad.

En diciembre de 2003, los egresados de la Universidad Nacional de Colombia tuvimos la oportunidad de mover nuestra ceremonia de grados al Teatro Metropolitano de Medellín. Éramos tantos que la tradicional ceremonia de la Facultad de Minas se fundió con la bienvenida al mundo laboral de las demás facultades de nuestra alma máter. Como primera egresada del programa de ingeniería de control y a mis 21 años tuve la responsabilidad de dirigirme a los profesionales en transición, pero desde una perspectiva que me llenaba no solo de ilusión, sino de un deseo de progreso del país. En aquel momento había recibido la oportunidad de financiar mis estudios doctorales con una beca del DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst: Servicio Alemán de Intercambio Académico) y quizá poco o nada comprendía por qué razón un gobierno europeo decidía brindar una beca de estudios doctorales a una mujer latina, sin esperar ni condicionar remuneración de ninguna índole.

Eventualmente allí comenzó la carrera transformativa que puedo denominar análoga al cambio estructural que muchos pensamos que nuestro país requiere. “Creo

firmemente que la ciencia y la tecnología son las claves del desarrollo de un país”, le dije a aquellos que comenzábamos a ser parte de la fuerza laboral calificada de Colombia, que apenas comenzaba a vivir con esperanza un periodo de esfuerzos enfocados a la seguridad ciudadana y convivencia luego de haber vivido, estudiado y sobrevivido a una pandemia que estaba en pleno furor y no nos dejaba salir de nuestras casas, nos obligaba a caminar por nuestra ciudad con miedo y nos impedía viajar por nuestra querida Colombia.

En 2018 recibí escéptica el encargo de ser parte de la Secretaría Técnica del foco de la Misión de sabios en industrias 4.0 y nano-bio-info-cogno como una de las funciones que la Universidad EAFIT y la Universidad del Norte adquirió con el Gobierno nacional. Dicha Misión convocó a muchas personas reconocidas internacionalmente para que juntas definieran lineamientos específicos sobre no solo este foco, sino otros que el Plan nacional de desarrollo 2018-2022 consideró relevantes para el futuro del país. Parte de mi escepticismo radicaba en el hecho de que muchos de aquellos sabios habían sido seleccionados de países cuya conexión directa no era del todo clara para mí (y con la venia de mis colegas, tampoco para ellos). No obstante, era saludable que todos los focos y en especial el nuestro contara con tan valioso equipo de trabajo que desde su diversidad de saberes emprendimos el camino complejo de desentramar la historia del país en torno a la existencia, capacidad y potencialidad de las tecnologías de la cuarta revolución y su influencia en los destinos y planes de desarrollo nacional.

Dicha tarea incluyó definir apropiadamente qué es la cuarta revolución industrial y tecnologías disruptivas, qué son, cuáles son, qué tipo de papel tienen en el mundo y, más allá de ello, comprender cuál es su diferencia-

dor y valor agregado en Colombia. No quedaba allí pues la labor, puesto que lo más complejo fue determinar y desentrañar las dinámicas académicas, investigativas, científicas e innovadoras que nos permitieran afirmar que efectivamente en el país sí se cuenta con la capacidad y, además, dar lineamientos sobre las alternativas que permitan que dicha capacidad se convierta en un potencial transformador no solo de la economía, sino de la sociedad completa.

Este ejercicio académico nos llevó por varias regiones entendiendo dentro de un contexto como el nuestro que se puede hacer para aportar a la transformación productiva, la seguridad alimentaria, el mejoramiento de la calidad de vida de niños, ancianos y enfermos, pero más visionario aún desde mi perspectiva es que apalanca la capacidad de la mujer (que en el contexto sociopolítico nacional es además de la cabeza de familia, el “único” cuidador, proveedor y responsable de la familia) en ser parte activa de la cuarta revolución industrial y la reactivación del proceso de desarrollo del país.

Quiero decir entonces que esta no es una reflexión necesariamente científica, tecnológica, ingenieril y matemática (STEM: Science, Technology, Engineering and Mathematics) sino que implica una evaluación más allá de las fronteras y el análisis social, económico, político y geopolítico de la Colombia de 2021.

Un factor adicional que ofrezco en este escrito es la revisión de estas experiencias internacionales y la compara-

ción con el papel de la mujer en las áreas STEM y STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics), que me permite ampliar la visión a las artes como parte de la economía, como se declaró en uno de los pactos del Plan nacional de desarrollo 2018-2022 y las cuales ahora se apalancan en las tecnologías de la cuarta revolución para su desarrollo y articulación con el sector productivo.

Este texto busca principalmente (pero no se limita a) analizar las industrias 4.0 y su contribución al cambio estructural (transformación productiva con base en ciencia y tecnología), mejorar la competitividad y la productividad de sectores estratégicos de la agricultura, industria y servicios, fortaleciendo capacidades nacionales de investigación y de empresas dedicadas a las industrias 4.0 (I4.0) para que Colombia se convierta en una economía emergente relevante en esta revolución tecnológica. Está organizado en las siguientes secciones: la sección 2 contiene un marco teórico sobre cambio estructural, industrias digitales 4.0 e impulso de nuevas exportaciones. La 3 presenta un panorama de las industrias 4.0. Posteriormente, la 4 discute el papel de las industrias 4.0 en sectores específicos de interés para Colombia, y finalmente me permito brindar en la sección 5 una propuesta para Colombia en el marco de nuestra situación social, económica, política y geopolítica.

2

MARCO TEÓRICO SOBRE CAMBIO ESTRUCTURAL, INDUSTRIAS DIGITALES 4.0 E IMPULSO DE NUEVAS EXPORTACIONES

Es posible que los lectores deseen que nuestra revisión sistemática comience directamente sobre las tecnologías. Pero es obligatorio ofrecer un contexto de la misión de este tipo de documentos. Encuentro como forma apropiada de acercamiento a nuestro propósito discutir a manera de ejemplo algunas de las experiencias que como profesora/investigadora/consultora y desarrolladora de tecnología hemos tenido durante los últimos once años en Colombia y en los últimos dieciocho años en países de Latinoamérica como Argentina, Brasil, Ecuador y Perú.

Una lectura de esta naturaleza permitirá dar un par de pasos hacia atrás (como cuando observamos un cuadro en un museo) para lograr la perspectiva adecuada de los países mencionados, pero una observación del desarrollo económico de muchos más años nos ofrece una dimensión macroscópica que está claramente marcada por las dinámicas macroeconómicas y políticas económicas de los últimos sesenta años. Adicionalmente, nos provee un sentido de globalidad, puesto que nuestros pares internacionales (países subdesarrollados o en vía de desarrollo) han pasado por procesos similares que no debemos desconocer.

Puesto que este capítulo es parte de una visión que la Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia (Fescol) ofrece, como autora del mismo alinee mis apreciaciones sobre las industrias 4.0 como protagonistas de un cambio estructural propuesto previamente por Ocampo y Torres en 2020 (Ocampo y Torres, 2020), y me propongo ofrecer la visión de relación de ellas con uno de los potenciales motores de desarrollo económico orientado al impulso de nuevas exportaciones, pero más allá pretendo ilustrar cómo Colombia puede dejar de producir bienes básicos y usar las tecnologías (y su muy preciado talento humano) para generar muchos más productos de valor competitivos internacionalmente.

2.1 CAMBIO ESTRUCTURAL

Puede resultar natural que en un país como Colombia, pre-ocupado desde los *baby boomers* con una serie de conflictos sociopolíticos, haya resultado antinatural conducir sus políticas económicas hacia esquemas de crecimiento económico de largo aliento, mucho menos pensable orientar dichas políticas al incentivo de la inversión en ciencia, tecnología e innovación (CTel) cuando las “prioridades” han sido garantizar la seguridad alimentaria, la seguridad ciudadana y la convivencia, optar por brindar acceso a la salud y otras. Pudiéramos de manera menos estricta pensar que el país ha estado intentando responder a impulsos macroeconómicos y tensiones internas con medidas que difícilmente puedan ser comprendidas por gran parte de la población cuando la necesidad inmediata que ve está relacionada con su ingreso diario para el sustento familiar.

En 2018 el Gobierno nacional conformó una Misión de sabios que básicamente intentó ubicar a la CTel dentro del modelo económico colombiano, lo cual da un primer paso hacia lo que Ocampo y Torres sugieren que puede ser un cambio estructural: “El cambio estructural es el determinante fundamental del crecimiento económico a largo plazo, el cual se basa en la interacción entre innovaciones y complementariedades” (Ocampo y Torres, 2020).

La baja propensión a la innovación está relacionada con el *desconocimiento* que tienen las empresas del sector productivo de la existencia de estímulos tributarios por donación e investigación o eventualmente por la dificultad de acceder a ellos, que son otorgados por el Comité Nacional de Beneficios Tributarios (CNBT) por medio de lo que antes conocíamos como Colciencias (transformado luego en Ministerio de Ciencia, Tecnología e In-

novación), que hacía las veces de veedor de la calidad científica y técnica de estas propuestas. Este mecanismo ofrecía hasta el 175% de la inversión de las empresas en reducción en impuestos, y pese a ser modificado continúa siendo un excelente mecanismo de estímulo a la vinculación de las empresas con los actores del sistema de CTel del país.

Otros elementos potenciales pueden estar supeditados a los bajos estímulos de la *relación* universidad-empresa y al desconocimiento de mecanismos como el anterior, porque la misión de ambos se entendía como disjuntas y su sinergia pobremente identificada. O quizás el entendimiento y la predisposición entre las partes hacía mucho menos “costosa” la compra de servicios tecnológicos a empresas consultoras del exterior, que terminaban siendo un sumidero infinito de gastos millonarios por la fluctuación de nuestra tasa de cambio. Afortunadamente, sobre las anteriores causas existen casos de éxito como el de Bancolombia y el Metro de Medellín, que a partir de sus esfuerzos en esta materia son reconocidas como empresas altamente innovadoras y cuyas iniciativas han redundado en la calidad de sus procesos internos de auditoría y mantenimiento preventivo, respectivamente. Aumentando su capacidad y competitividad y, consecuentemente, su productividad.

En adición, para las empresas no es (o no era) claro cómo procesos de innovación pudieran aumentar su competitividad o productividad puesto que no se tenía una visión holística de esquemas basados en innovación que permitieran reemplazar importaciones de materia prima y comenzar a abaratar costos para exportaciones de productos, bienes y servicios. Un caso de éxito de esta epifanía es el del Grupo Bios, que mediante la adopción de estrategias innovadoras orienta sus procesos productivos agropecuarios basados en innovaciones en proceso y producto. En ese camino van empresas de los sectores energético y de desarrollo de *software*.

Algunos casos excepcionales no necesariamente significan que la mayoría de las empresas del país esté siendo estimulada por las políticas de gobierno a procesos de esta naturaleza. Sigue siendo obligatorio que, como mencionan Ocampo y Torres:

El país debe poner en marcha políticas de desarrollo productivo que fomenten la innovación y las complementariedades, acompañadas de políticas macroeconómicas y financieras que garanticen una tasa de cambio real adecuada y financiamiento de largo plazo para las actividades innovadoras (Ocampo y Torres, 2020).

Lo anterior deberíamos examinarlo a la luz de dos conceptos: complementariedad y tasa de cambio real adecuada.

A la luz de Ocampo y Torres:

Las *complementariedades* se asocian con el desarrollo de redes de proveedores de bienes y servicios especializados (...) abarcan servicios especializados, incluyendo el conocimiento, los servicios logísticos y los de mercadeo (...) también incluyen servicios financieros especializados, donde la cercanía es importante por las asimetrías de información que caracterizan los mercados de crédito (Ocampo y Torres, 2020. *Itálicas* de la autora).

Esto significa que las complementariedades se comportan como externalidades en los mercados.

Por otro lado, entendiendo que la tendencia en países como Colombia ha sido la dependencia de los productos básicos, podemos afirmar que:

las fluctuaciones cíclicas en los precios de los productos básicos están asociadas a sus efectos sobre la *tasa de cambio real*, la cual genera, a su vez, efectos contracíclicos sobre la cuenta corriente de la balanza de pagos: las exportaciones de bienes no primarios disminuyen y las importaciones aumentan durante los auges de precios de productos básicos, y lo contrario ocurre durante las crisis (Ocampo y Torres, 2020. *Itálicas* de la autora).

En cuanto a un cambio estructural, lo anterior implica que, básicamente, se compone de un estímulo a las interacciones del sistema de CTel con el sistema productivo o más bien la incorporación de la innovación como práctica usual (ojalá obligatoria) para mantener la cadena de productividad activa y generar nuevos bienes y servicios que permitan que el país no dependa exclusivamente de los productos básicos, tal como lo ha hecho con el petróleo y el café.

Esto apunta directamente a la diversificación de nuestra economía hacia economías de diferentes escalas basadas en elementos del siglo XXI como las artes, las industrias digitales, la denominada economía naranja, la economía del cuidado (apalancada en la mujer como eje central de esta pero no necesariamente exclusiva para ella) y adicionalmente potenciando industrias ya existentes como agricultura, industria de alimentos, industrias y servicios de salud y otras industrias de interés para Colombia como los sistemas de movilidad, aeronáutico/aeroespacial y naval.

2.2 INDUSTRIAS DIGITALES

Según el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia:

La Industria 4.0 incluye procesos de negocios en la industria que contemplan la organización de redes de producción globales sobre la base de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones, y tecnologías de Internet, con la ayuda de las cuales se lleva a cabo la interacción de los objetos de producción (Mintic, 2019).

En consecuencia, el Gobierno nacional decide usar el término “industria 4.0” para denotar el proceso de transformación en las cadenas globales de creación de valor.

Esto significa necesariamente que “el nuevo ecosistema digital está cambiando la forma en que los productos se diseñan, se crean y se entregan a los clientes” (Mintic, 2019). Si bien se espera que los productos, los servicios y la innovación inteligentes impulsen el crecimiento de la empresa, los principales impulsores de la eficiencia del nuevo paradigma industrial son las cadenas de suministro y las fábricas.

El proceso de transformación digital ha sido evidente en los últimos tres años en industrias de manufactura, alimentos y agroindustriales, y en ecosistemas tan particulares como la salud (Haceb, Aliar, Nutresa, Nacional de Chocolates, entre otros). Prueba de ello fue la respuesta contundente de actores del sistema de CTel al llamado del Gobierno nacional a contribuir a la solución de problemáticas asociadas a la covid-19 en la Mincienciatón de 2020.

Así las cosas, más allá de una oleada de titulares de prensa y de documentos técnicos, las industrias colombianas comenzaron una transición a ser industrias digitales al estar ampliamente apalancadas por la capacidad instalada en el país. Aclarando que no he mencionado la capacidad de Colombia en materia de innovaciones en cambio climático, todas basadas en áreas STEM y en industrias y tecnologías de la cuarta revolución.

2.3 IMPULSO DE NUEVAS EXPORTACIONES

Reenfocando entonces en la idea de que las industrias digitales estimulan la capacidad de Colombia en materia productiva, merece la atención vincularla con la cadena de suministro y esta con el potencial humano para la *creación de nuevos bienes y servicios* que complementen la capacidad exportadora del país y aporten a la robustez de nuestra economía en una mezcla saludable de productos básicos con nuevos productos de base tecnológica.

Podría decirse que la transformación hacia la Industria 4.0 es una transformación tanto de las fábricas como de las cadenas de suministro: de fábricas tradicionales a ‘fábricas inteligentes’, ‘fábricas digitales’ o ‘fábricas del futuro’, y de cadenas de suministro tradicionales a ‘redes de suministro digital’ (Mintic, 2019).

Es obligado tratar entonces la innovación como proceso que da vida a esas nuevas exportaciones. En ningún momento se trata de repetir el modelo chino de reemplazar productos ya inventados por unos producidos a menor costo. Esto es lo que hacía China como modelo de industrialización y de aprendizaje, y su contexto hizo factible que su gradiente de desarrollo fuera positivo. Resultados sobre ello se evidencian ya que ahora es el segundo país en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) después de Estados Unidos. La invitación está orientada básicamente a comprender los procesos de innovación como resultado ya sea de la evolución de una hipótesis científica o de una solución a un problema puntual que resulta en una genialidad.

3

PANORAMA DE LAS INDUSTRIAS 4.0

Con el objeto de dar un panorama de las industrias 4.0 que parta de su definición, génesis, cuáles son y para dónde van, cuáles tecnologías las conforman, es importante establecer un flujo de ideas. Desde 2011 se viene usando el término de industrias 4.0 pero eventualmente cuando se habla de ello o de tecnologías disruptivas o de cuarta revolución no hay un consenso general establecido.

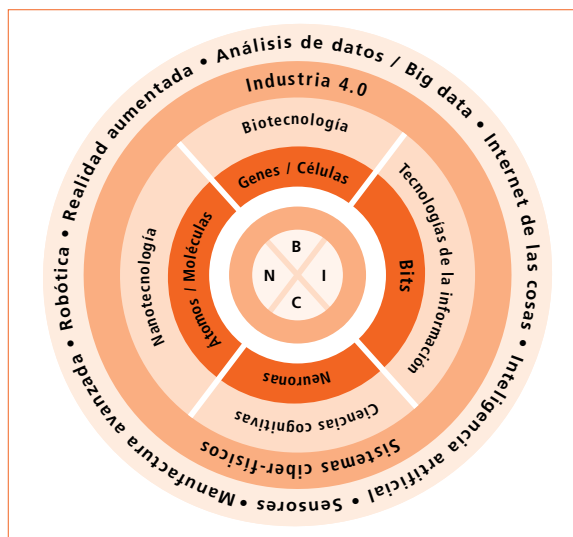
Recientemente el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia generó un documento base sobre el asunto, afirmando que las tecnologías de la industria 4.0 son un sistema complejo en el que hay fuertes interrelaciones entre ellas. Pero es necesario conocer qué tecnologías caracterizan a ese tipo de industrias, las cuales presentaremos a continuación. Comprenderlas hace posible entender por qué sugerimos

que la capacidad de Colombia de mover la balanza hacia el desarrollo se base en ellas.

Se definen nueve tendencias tecnológicas que constituyen los componentes básicos de la industria 4.0: el internet industrial de las cosas, análisis de *big data*, computación en la nube, simulación, realidad aumentada, robots autónomos, fabricación o manufactura aditiva, ciberseguridad e integración horizontal y vertical del sistema.

A esto, como mencioné en secciones anteriores, en el foco de la Misión de sabios se agregaron términos como *nano* (y todo lo que se puede desarrollar en esta dimensión), *bio* (no necesariamente a biología que también está articulada en ciencias básicas y del espacio), *info* (otras tecnologías de la información) y *cogno* (neurociencias y ciencias cognitivas) (ver figura 1). Sus apli-

Figura 1
Misión de sabios, foco industria 4.0 y NanoBioInfoCogno



Fuente: Nino-Ruiz et al., 2019.

caciones se han multiplicado y se tienen algunas rutas hacia donde evolucionarán en los próximos años. Estas vías de desarrollo pueden encontrarse en el texto “Tecnologías disruptivas del proceso de globalización” (Navas-Sierra, 2019). Una industria 4.0 posee varias características tecnológicas para la generación de bienes y servicios sobre los cuales Colombia puede basar esquemas novedosos de alto valor agregado y creativo. Podemos pensar que tienen el potencial de generar combinatoriamente una cantidad de nuevos productos de potencial exportación.

Tradicionalmente (fui formada en una escuela tradicional), podríamos entender que la innovación es un momento del tránsito de una idea científica que va pasando por (alguno o varios de los siguientes) ser investigación básica y/o aplicada, desarrollo experimental, desarrollo tecnológico, planta piloto, y al alcanzar un cierto nivel de madurez tecnológica puede transferirse a un modelo comercial y de negocio que permita escalarlo. Lo natural en aquel entonces era que el producto prototipado llegara luego de un proceso apropiado de transferencia a convertirse en una innovación (*I*). Eventualmente por eso la *I* de innovación termina estando después de ciencia y tecnología, CTel, eventualmente no.

Recientemente (los últimos diez años), apareció un grupo de jóvenes que atendiendo a las escuelas estadounidenses de formación comprendieron y nos hicieron comprender que los procesos de innovación no necesariamente tenían que transitar nuestros TRL (Technology Readiness Levels de la Nasa o niveles de madurez tecnológica que mencioné en el párrafo anterior), y se contempló que la incorporación de ideas y tecnologías en modelos de proceso o de producto también eran innovaciones reconocibles y estimuladas por el Comité Nacional de Beneficios Tributarios.

La pandemia ha demostrado que la nueva generación de procesos de creación de soluciones en salud como la traslativa y traslacional son una combinación de las anteriores, y que para obtener resultados relevantes no es necesario tener procesos ortodoxos. Además, en la era de la industria digital no se requiere tener un título de doctorado para contribuir a la generación de nuevas ideas de productos, bienes y servicios.

Ahora bien, teniendo en cuenta lo dicho, el mayor capital del país se constituye en el talento humano que deberá ser estimulado, apoyado y capacitado para generar nuevas exportaciones de manera tal que la economía se reconstruya mediante el cambio estructural. Esto es válido no solo para la industria y la economía naranja basada en las artes, sino también en la estrategia de articulación de actores nacionales e internacionales y la puesta en marcha de parques tecnológicos que permitan sacar al mercado nuevas ideas y exportaciones que pueden ir desde nanofibras de polímeros para capturar material particulado, hasta modelos de inteligencia artificial para mejorar la calidad de la atención de pacientes en unidades de cuidado crítico, pasando por personajes de juegos de videos para rehabilitación, apropiación de la ciencia o entretenimiento.

La respuesta está vinculada a la capacidad del país de articular políticas de inversión en innovación con estrategias de reconocimiento de nuevos mercados como la industria del cuidado, las economías informales (y su formalización), insumos médicos, nuevos materiales, productos de *software* y para nuestra feliz sorpresa la industria aeroespacial.

Implicaciones directas de un cambio estructural están relacionadas con la reinención de modelos de negocio y reconfiguración de modelos productivos que permitan minimizar costos de producción (reducir importaciones) usando las tecnologías disruptivas en la automatización de los procesos, sin perder en el horizonte que en la era de la inteligencia artificial el ser humano es quien puede continuar creando y generando valor, y en la dimensión ciberespacial se reflejan dinámicas humanas que dominan las interacciones sociales y económicas.

La creación de nuevas exportaciones dependerá del nivel de adopción tecnológica de la industria 4.0 y de la calidad del flujo de información que se establece entre las ya denominadas complementariedades. Al fin y al cabo, el reflejo de estas acciones se termina observando en los indicadores económicos y de desarrollo social de los países y se mide en la mejora de la calidad de vida de los habitantes no solo en cuanto al acceso a los derechos básicos y el reconocimiento de la salud mental como uno de los indicadores de nivel de vida de un país

desarrollado. Es en esta última que nuevos productos derivados de la industria 4.0 y NanoBioInfoCogno comenzarán a ver la luz como bandera de exportación. Es necesario explotar la creatividad sin límites del colombiano y la capacidad demostrada de recuperarse de la adversidad, mediante condiciones y políticas que se articulen a su alrededor como eje del cambio estructural por medio de las políticas de desarrollo productivo y de CTel (Ocampo y Torres, 2020).

Estas políticas pueden evidenciarse en Alemania, donde pese a los posibles prejuicios del público general, la clave de su actual competitividad es la fuerte relación de la productividad con el sistema de CTel. En los años recientes, Alemania se ha caracterizado por su liderazgo económico en sectores como acero, química, automotriz, óptica, dispositivos y medicamentos, y en el cual las tecnologías verdes y las industrias 4.0 (IT 4.0) representan un amplio margen del producto interno bruto (PIB) en exportaciones. Con el tiempo, países competidores han avanzado en su capacidad de adquirir conocimiento y habilidad tecnológica, lo que representa no solo un reto sino un riesgo para la solvente economía alemana.

Este tipo de políticas tiene cabida en el sistema alemán puesto que la infraestructura de investigación depende de la relación universidad-empresa-Estado-sociedad, todo con el fin de llevar a cabo investigaciones que soporten las innovaciones. Una de las características fundamentales es la capacidad de diversificación de los papeles de los actores de ciencia y tecnología, de manera tal que la sociedad Max Planck atiende investigación básica, la sociedad Fraunhofer investigación aplicada, la asociación Leibniz investigación en ciencias básicas, humanas y sociales, y, finalmente, la asociación Helmholtz se dedica a las infraestructuras que soportan las anteriores. Sin embargo, tal maravilla no se construyó de la noche a la mañana y fue fruto de políticas progresivas relacionadas directamente con el grado de madurez y la capacidad de convertir los resultados en productos comercializables. Luego de ello, el esfuerzo reinante en los procesos de niveles de desarrollo tecnológico superiores (léase innovación) se sigue apalancando desde la proporcionalidad del PIB como parte de la política pública y una serie de instrumentos financieros que promueven la innovación orientada a la transformación y la competitividad.

Por otro lado, en Corea la historia ha sido ligeramente diferente. Su política industrial con focalización ha permitido que los resultados de su rápido, sostenido y alto crecimiento económico con equidad, lograran que en corto tiempo se transformara de un país subdesarrollado en uno industrializado. Allí sucedió algo similar al discurso de los graduandos de la Universidad Nacional de Colombia en 2003, pero en la década de los sesenta, cuando el foco de la política orientada al desarrollo económico fortaleció e incentivó exportaciones de industrias ligeras más bien elegidas por el desarrollo de sus capacidades basadas en el talento humano. Evoluciones progresivas basadas en la reinversión de los ingresos en procesos de investigación y posterior innovación lograron posicionar a Corea en la última década como protagonista de la cuarta revolución industrial. Llama la atención en este país la orientación de las tecnologías de la cuarta revolución mucho más hacia la inteligencia artificial, centradas en el humano en ejes que me son particularmente cómodos (por las áreas de trabajo objeto de mis investigaciones e innovaciones) como la innovación inteligente (calidad de vida), vehículos, seguridad y defensa.

Desarrollaré esta tecnología y la premisa de la quinta revolución como la *Human Centered Mathematics* en una de las partes finales de este texto, motivada por la mención necesaria de los estímulos del Estado a las empresas de base tecnológica o *start ups*. En particular, la industria digital del cuidado y el desarrollo aeroespacial son algunos de los elementos comunes que Corea tiene con Colombia. La adopción de políticas de inversión en este tipo de empresas de base tecnológica ha sido clave en el desarrollo de este país en las últimas dos décadas.

Mientras tanto en Polonia, que tiene un desarrollo relevante dentro de la Unión Europea, el escenario de crecimiento fue relativamente diferente puesto que los grandes sectores de focalización se caracterizan en su mayoría por contener altos porcentajes de la fuerza laboral. De nuevo, la focalización en sectores que tienen como base el talento humano parece ser la clave. Con el aprovechamiento de fondos de investigación con horizonte 2020 como aplicación de las políticas de cambio estructural se fortalecieron la agricultura, la industria (maquinaria, telecomunicaciones, electrónica y TI, que reemplazaron en proporción la del carbón y textil), servicios y energía.

En el resultado del ecosistema de innovación y desarrollo I+D son claves estímulos con exenciones parciales de impuestos sobre beneficios para las nuevas inversiones (también a investigación e innovación) y privilegios con criterios cuantitativos y cualitativos a las empresas. Las industrias 4.0 en Polonia son en su mayoría la industria espacial, automotriz, salud, electrónica y defensa.

La increíble potenciación de centros de investigación como resultado de estas políticas deja cifras por encima de trescientos centros de investigación orientada a sectores que ubicarán a Polonia en menos de diez años en la economía modelo en Europa en materia de crecimiento.

Finalmente, en Brasil la historia fue ligeramente contraria puesto que algunas políticas no tuvieron los resultados esperados y debieron ser repensadas en los últimos diez años (Ocampo y Torres, 2020). Un esquema de financiación mixta en los ejes de investigación e innovación, además de la investigación agropecuaria, dejan ver una focalización de los esfuerzos basada en las potencialidades del país.

En mi opinión esto sugiere que la investigación enfocada en el sector agropecuario puede ser un modelo relevan-

te a seguir siempre y cuando garantice que se suplan las necesidades de seguridad alimentaria del país y se minimicen importaciones de materia prima para alimentos procesados. Esta como industria 4.0 tiene un potencial absolutamente diferenciador en economías de tradicional esfuerzo agrícola y pecuario y con capacidad de explotación de vastas cantidades de territorio en el marco sostenible de cuidado y protección de la biodiversidad. En Colombia, este tipo de interés debe ser copiable.

De vuelta a Brasil, las políticas de cambio estructural tomaron un tiempo en surtir efecto, pero es claro que desde 2017 hay esfuerzos particulares en vincular el sector productivo a la Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (Abdi) como parte de la mesa de trabajo del Grupo de Trabajo para la Industria que reúne los actores considerados esenciales: universidad/academia, empresa y Estado. Sin embargo, está en duda la capacidad de Brasil de llevar a cabo exitosamente políticas que desestimulan la independencia tecnológica retrocediendo en sus industrias militares, energéticas y aeroespaciales (Ocampo y Torres, 2020). Brasil a veces avanza a veces retrocede, pero al final el balance es positivo en ciertos sectores.

4

LAS INDUSTRIAS 4.0 EN SECTORES ESPECÍFICOS DE INTERÉS PARA COLOMBIA

No podría avanzar en este texto sin referirme a algunas de las tecnologías que si bien no se encuentran contenidas en definición dentro de las IT 4.0 sí son obligatorias al hablar de la cuarta revolución como la inteligencia artificial, la nanotecnología, la biotecnología y las ciencias cognitivas.

Al ser una de las áreas del conocimiento en las que me he movido en los últimos veinte años, complementado con la apropiación y capacidad articuladora de las tecnologías mencionadas en la sección anterior, me propongo presentar algunas de las posibles industrias colombianas de la cuarta revolución.

4.1 AGRICULTURA

Experiencias recientes en esta industria 4.0 están materializadas en iniciativas de investigación y desarrollo presentadas en el marco de la convocatoria de Colciencias en 2018, denominada Colombia Científica. En ese entonces se proponían ejes temáticos y tuve la oportunidad de liderar una alianza internacional público-privada para llevar al siguiente nivel a la industria de la agricultura del país.

El objetivo de garantizar la seguridad alimentaria a partir de esquemas de trabajo orientados al mejoramiento del sistema suelo-planta-servicios ecosistémicos es un buen ejemplo de ello. Mediante el uso de nanotecnología, particularmente nano-encapsulados que permitan mejorar el flujo de nutrientes en el suelo, articulado con el estudio de las comunidades microbianas del mismo por medio de estudios metagenómicos, nos proponíamos desarrollar formulaciones apropiadas de promoción de actividad que mejorara las propiedades de la planta. En ese mismo flujo de ideas, estudios genéticos de las

variedades vegetales permitirían entender las dinámicas de la planta con los posibles depredadores de manera tal que se comprendieran ciclos que promovieran acciones de control que minimizaran el uso de plaguicidas. El mejoramiento genético mediante la biotecnología estaba contemplado y algunos institutos nacionales aportarían variedades para estudio. En el campo de la biología, la fisiología vegetal se obtiene mediante análisis de datos de censado remoto y la metagenómica ofrece soluciones para entender la evolución de un cultivo de maíz.

En esa misma vía, el uso de dispositivos integrados a redes de medición que monitorearan constantemente el estado del cultivo se alineaban con técnicas de inteligencia artificial que permitieran predecir los momentos apropiados de fertilización de manera tal que la productividad aumentara. Una distribución apropiada de sensores y la adquisición de imágenes en varias longitudes de onda podrán vincular las variables meteorológicas y climáticas con las actividades agrícolas. Todo lo anterior en una mirada que necesariamente obliga a mantener alrededor de una industria agrícola 4.0 los más altos estándares de cuidado y manejo de los servicios ecosistémicos.

Existen modelos de predicción de rendimiento de cultivos basados en los datos recolectados del suelo y las imágenes de las plantas, la tecnificación de las sembradoras y de las cosechadoras articuladas en un esquema de manejo que ya son realidades que se pueden ver en nuestro país.

En adición, en la industria pecuaria es posible monitorear las variables relevantes de las unidades animales con el fin de anticipar posibles desviaciones de las curvas nutricionales apropiadas. Muchos ingenieros matemáticos y físicos están trabajando fuertemente no solo en la apro-

piación de la tecnología en campo, sino de modelos matemáticos alrededor de la optimización de la producción.

Dado lo anterior, podemos considerar axiomático el hecho que Colombia tiene avances contundentes desde la academia y varias empresas hacia la consolidación de la industria agrícola y pecuaria 4.0. *Per se*, esta industria tiene la capacidad no solo de suplir necesidades internas que pueden bajar sus costos de producción sino de generar nuevas exportaciones con procesos de relación internacional bien enfocados.

Adicionalmente, cuentan con la posibilidad de desarrollarse en el territorio nacional bajo la hipótesis que pudiese accederse a todo el territorio en condiciones apropiadas de seguridad que permitan que no solo la inversión, sino que las personas que trabajan la tierra puedan tener garantizados sus derechos fundamentales y, también, su seguridad física. He aquí un reto que Colombia enfrenta en esta industria puesto que, por las condiciones sociales, es innegable que el trabajo de la tierra se ha convertido en un trabajo de potencial alto riesgo ante la proliferación de actividades humanas ilícitas. Vencer externalidades negativas para esta industria es una tarea importante no solo para el Gobierno sino para la población.

Supongamos que vencida esta brecha cabe el espacio para una industria agropecuaria 4.0 en Colombia en la que la mano de obra y el talento humano de los jóvenes pospandémicos quieran dar el impulso que esta industria requiere mediante el uso de la tecnología. En ese sentido, el reto de captar talento humano y capacitarlo se interseca con las metas que instituciones como el Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena) pueden ponerse en zonas rurales, enfocando sus esfuerzos a la mujer, cumpliendo ampliamente con los planteamientos de los pactos transversales del Plan nacional de desarrollo 2018-2022.

Una industria agropecuaria 4.0 supone niveles de tecnología y automatización elevados, lo cual no representa problema alguno para que las mujeres puedan hacer trabajos de esta índole. Además, en un plan correcto de crecimiento, los salarios dignos pueden permitir que la calidad de vida del entorno de la industria agropecuaria

4.0 aumente considerablemente. Eso es desarrollo basado en CTel.

Lo anterior puede ser un escenario logvable para las grandes empresas. Es probable que, sin incentivos apropiados, las empresas pequeñas y medianas de la industria agrícola y pecuaria no puedan adoptar este tipo de tecnologías, para lo cual se requiere una agenda de *políticas que enlacen el desarrollo productivo e industrial con la de CTel*.

4.2 INDUSTRIA DE ALIMENTOS

En secciones anteriores me he referido a la capacidad de una transformación real con base en estrategia y políticas. La estrategia propuesta aquí consiste básicamente en aumentar la competitividad y productividad del país a partir del desarrollo y la innovación en la vía de la sustitución de importaciones para suplir necesidades básicas que perfectamente puede cubrir la industria nacional y la potencialización de industrias que tienen capacidad de generar nuevos productos. La seguridad alimentaria de Colombia es una prioridad en el aumento de la calidad de vida, puesto que se trata de garantizar el acceso a los alimentos a precios razonables y producir nuevos productos de calidad exportación diferentes al café y al cacao que terminan en industrias 4.0 de alimentos en Europa.

En el campo de la industria de alimentos, la conversión a industria 4.0 implica la implementación directa del término. No solo consta de la adopción desordenada de tecnologías que de ninguna manera (desde mi perspectiva personal) deben ser compradas o se espera que no sean (ojalá al mínimo), a extranjeros. Se trata de que el concepto de integración vertical y horizontal se lleve a cabo recordando la propuesta de las externalidades mencionadas en el cambio estructural y que en la cadena de valor se vayan incorporando las tecnologías disruptivas para agilizar los procesos diagnosticados como críticos y se refuercen los equipos multiinstitucionales de I+D en materia de nuevos productos.

Si se tiene en cuenta la integración con la industria 4.0 agrícola se perciben rápidamente reducciones en la materia prima, pero si se adentra en los procesos es mu-

cho más vasto el terreno de la adopción de las tecnologías para la aceleración de los procesos productivos mediante la automatización de procesos (robotizados o algoritmizados), mejoras en la producción mediante diferentes esquemas de sistema ciberfísico y el aumento de la eficiencia de distribución en los elementos de las cadenas logísticas. Esto sin mencionar que, en la transición a la transformación digital, los aspectos de mercadeo desempeñan un papel relevante en la nueva sociedad de la información.

La analítica de datos y el *big data* hacen parte de la manera como la industria de alimentos se convierte en 4.0 puesto que, al contemplar el volumen importante de datos, es posible extraer patrones de comportamiento de oferta y demanda por medio de información de consumos y contrapartes. Adicionalmente, en la era del mercadeo digital estas estrategias de fidelización de consumidores basadas en *big data* están consolidando una tendencia que se vincula progresivamente con las universidades que están urgidas de generar este tipo de conocimiento para los profesionales en formación. Nutresa está avanzando en este tipo de estrategias basadas en cuarta revolución.

4.3 INDUSTRIAS Y SERVICIOS DE SALUD

Mencionado anteriormente, el contexto de la pandemia obligó al país a llamar a su fuerza laboral primaria en procesos de desarrollo, los investigadores. Un escenario nunca antes visto enfrentó a Colombia a reclutar a los mejores para ofrecer las mejores soluciones que le dieran la capacidad al país de luchar contra el SARS-CoV-2. No dista de los esfuerzos de las multinacionales farmacéuticas que, con músculos mayores al gobierno colombiano, lograron vacunas que permitieron avanzar en materia de inmunización. Sin embargo, este ejercicio sirvió de inventario de tecnologías de cuarta revolución que demuestran la capacidad no menor de proveer soluciones y generar productos de exportación.

Se estima que las industrias y los servicios de salud son un gran porcentaje de la economía mundial. Colombia nunca le había apostado a este tipo de iniciativas, pero en la actualidad los resultados de las investigaciones de

la Mincienciación hacen parte de un grupo de iniciativas mundiales de inversión y transferencia tecnológica. De mi experiencia a continuación mencionaré algunos de los nichos especiales de la industria colombiana de la salud 4.0.

En laboratorios de genética y cáncer en Colombia se analizan cadenas de péptidos (usando algoritmos matemáticos) y se entiende la dinámica molecular de la regeneración. Esta capacidad permitió la posibilidad de generar proteínas que eventualmente pueden ser usadas para vacunas o pruebas rápidas antivirales.

Dominio y creación de tecnologías tipo ómicas con relevancia en el desarrollo de nanosensores de patógenos virales, creación de nanomembranas de filtración, dispositivos de protección facial usando manufactura aditiva, sistemas de reconocimiento temprano de neumonía tipo covid usando inteligencia artificial con esquemas de protección de privacidad, seguridad y confidencialidad usando *blockchain* son algunos ejemplos.

Nuestro caso particular en medio de la Mincienciación fue la respuesta a problemas de priorización de pacientes usando como fuente de información radiografías y tomografías en hospitales de tercer y cuarto nivel de Medellín. La investigación obtuvo resultados satisfactorios desde un punto de vista médico, dado que permitió crear conocimiento sobre factores potenciales de impacto en desenlaces, pero a su vez fue la posibilidad de despliegue de tecnologías de cuarta revolución que compiten actualmente en mercados internacionales como dispositivos médicos.

Para Colombia este punto representa una oportunidad de escalar dichos desarrollos para, de nuevo, minimizar los costos de suplir la necesidad interna de garantizar aumento en la calidad de vida mediante servicios de salud democratizados, además de exportar estas tecnologías como nuevos productos o servicios en el marco de la telemedicina, el telecuidado y la telesalud, todos ellos sistemas ciberfísicos que contienen la mayoría de las tecnologías descritas.

En ese sentido, el uso de manufactura aditiva para el prototipado de dispositivos médicos tuvo un papel esencial en la generación de videolaringoscopios y respira-

dores artificiales, que con herramientas de simulación y realidad extendida completan y aceleran los procesos innovadores.

Estas iniciativas impulsaron la creación de *spin off*, como empresa de base tecnológica, *start ups* y alianzas para la comercialización de los resultados, previamente protegidos con esquemas de propiedad intelectual. El resultado de una apuesta por la ciencia se dio además en un corto plazo.

La importancia de la incursión de Colombia en la industria de la salud 4.0 consiste en la adopción mundial de protocolos de historia clínica y la entrada de nuevas regulaciones que permiten articular una red (que debe ser protegida) que gira en torno al diálogo entre instituciones en pro de una mejor atención al paciente.

Parte de la potencial industria 4.0 de la salud puede verse intersecada con la industria del cuidado. Entendido como el cuidado de potenciales pacientes, este sector puede integrar la economía consistente y progresivamente. La salud mental y la rehabilitación pueden echar mano de la realidad extendida, el internet de las cosas (IoT: Internet of Things), la inteligencia artificial y las ciencias cognitivas para ofrecer nuevos productos en un marco estricto de ciberseguridad.

En Ruta N en Medellín, en el marco de los planes de desarrollo específicos para la ciudad se adelantan agendas específicas de trabajo en el diagnóstico de iniciativas basadas en tecnologías de la cuarta revolución en el sector salud. Aunque pueda sonar increíble, es cierto que se ha identificado un alto nivel de tecnología médica y de desarrollos particulares como *vivA-Med* o *HuMath-Curie*, que constituyen fundamentos de medicina 4.0 y abren posibilidades de mercados internacionales en la industria colombiana de la salud 4.0.

Retos específicos están en la creación de modelos de atención en salud para Colombia que contribuyan a reducir costos en el sistema, maximizar la calidad de la atención, democratizar el servicio, por un lado, resolviendo el problema interno y reflejando este nivel de desarrollo en la calidad de vida del país. Por otro, la interconexión con grandes firmas internacionales como Amazon Web Services (AWS) en el manejo de los es-

quemas de computación en la nube, permitirá extender las barreras de los desarrollos colombianos a mercados como Chile, Estados Unidos, México y África.

Queda para discusión posterior cómo, con el advenimiento de la IT 4.0, la industria del cuidado no remunerado (como el que se realiza en los hogares y que fue la base del país para poder soportar la pandemia) puede ser potencializada. Tendríamos que definirla como industria, para intentar utilizar dichos conceptos (López Montaña, 2020).

Efectivamente, en el Plan nacional de desarrollo 2018-2022 el gobierno colombiano hace cambios sustanciales en el presupuesto de CTel y asume el rol de principal contratista de este tipo de productos de origen científico. Asimismo, propone avanzar en la comercialización de los productos eliminando cláusulas de detrimento patrimonial del Estado en los casos en los que es él quien apoya la financiación. Adicionalmente, expresa su intención de vincular a las empresas proponiéndose metas cercanas al 5% del PIB.

4.4 INDUSTRIA NARANJA 4.0

Recientemente, el término de economía naranja se ha acuñado desde el Ministerio de Cultura de Colombia (Duque y Buitrago, 2021). Se dice que se fundamenta en la creación, producción y distribución de bienes y servicios culturales y creativos, que se pueden proteger mediante los derechos de propiedad intelectual. Cumple entonces con los requisitos para ser parte de los nuevos intereses de exportación y además puede protegerse tal y como se hace con los productos derivados de procesos científicos e innovadores (Acosta, 2020).

Había mencionado brevemente el auge e interés mundial en la extensión de los intereses STEM a los intereses STEAM. Esto significa el reconocimiento de las artes y las áreas hijas de las mismas como elementos fundamentales y cohesionadores de las clásicas STEM y de desarrollo de los países y las economías. La creatividad como pilar de nuestra sociedad y la formalización y el apoyo gubernamental a la constitución de estas industrias es esencialmente una visión que se alinea perfectamente a la visión

de cambio estructural y que confluye directamente sobre los bienes y servicios potenciales de exportación de nuestro país.

Las gráficas 1, 2 y 3 resumen los sectores en los cuales esta economía tiene su foco.

Gráfica 1
Sector de artes y patrimonio de la economía naranja

ARTES Y PATRIMONIO	
Artes visuales	Pintura, escultura, fotografía, video arte y <i>performance</i> .
Artes escénicas	Conciertos, ópera, circo, orquestas, danza y teatro.
Turismo y patrimonio cultural	Museos, cocinas tradicionales, artesanías, parques naturales, bibliotecas, archivos, festivales y carnavales.
Educación	Formación en oficios de las artes y el patrimonio, formación en prácticas artísticas, formación en gestión y emprendimiento cultural.
Gastronomía	Cocinas tradicionales y bebidas alcohólicas tradicionales.
Artesanías	Indígena, tradicional popular y contemporánea.

Fuente: <https://economianaranja.gov.co/abc-economia-naranja/>

Gráfica 2
Sector de industrias creativas de la economía naranja

INDUSTRIAS CREATIVAS NUEVOS MEDIOS Y <i>SOFTWARE</i> DE CONTENIDOS	
Medios digitales	Video juegos, contenidos interactivos, audiovisuales, plataformas digitales, creación de <i>software</i> , creación de apps (código programación) y animación. Agencias de noticias y otros servicios de información.
Diseño	Interiores, artes gráficas e ilustración, joyería, juguetes, industrial (productos), arquitectura, moda y mobiliario.
Publicidad	Servicios de asesoría, servicios creativos: producción de material publicitario, utilización de medios de difusión, creación y realización de campañas de publicidad, campañas de mercadeo y otros servicios publicitarios.

Fuente: <https://economianaranja.gov.co/abc-economia-naranja/>

Gráfica 3
Sector de industrias culturales de la economía naranja

INDUSTRIAS CULTURALES	
Editorial	Librerías, libros, periódicos, revistas y literatura.
Fonografía	Música grabada.
Audiovisual	Cine, televisión, video y radio.

Fuente: <https://economianaranja.gov.co/abc-economia-naranja/>

Luego de una inspección simple de los tres tipos de sectores de la economía naranja y *haciendo un análisis de la factibilidad de adopción de las tecnologías de la cuarta revolución resulta natural* candidatar al menos las industrias creativas y las industrias culturales a ser industrias 4.0, porque considero al talento humano de las naciones como gran capital en la era de la cuarta revolución en la que la tecnología es el medio para desarrollar nuevas invenciones y productos que rescaten y dinamicen la economía. Me permito alejarme de aspectos técnicos obvios (resulta natural el potencial técnico e innovador de la cuarta revolución descrita en las gráficas 1, 2 y 3), para exponer las condiciones de desarrollo de esta industria 4.0 a la luz de aspectos de externalidades.

En la revisión sistemática de la adopción de políticas de cambio estructural en otros países (Acosta, 2020) se pudo ver que el foco de trabajo de ellos estaba muy supereditado al nivel específico que tenían los mismos hace más de treinta años. Colombia reconoce actualmente que su capital humano no solo atiende intereses de la industria clásica, sino que puede generar bienes y servicios como los de los sectores de industrias creativas y las industrias culturales.

¿Cómo convertir estas industrias en industrias creativas 4.0 y las industrias culturales 4.0 para ser industrias 4.0? Deberán cumplir entonces con premisas específicas de integración vertical y horizontal, para lo cual se requiere un esfuerzo del Estado y de los emprendedores en la formalización de sus actividades y en la articulación de estructuras ligeras tipo industria.

Buenas noticias para la industria naranja 4.0 aparecen cuando desde la estrategia internacional se apoyan los intereses de Colombia en ese sentido:

Muchas veces se ha pensado en el arte y en los artistas como áreas especiales, separadas, de quienes trabajamos en el mundo del desarrollo o, más aún, distantes de los ciudadanos en general. Como si restaurar la salud de las personas, su bienestar y reactivar el crecimiento económico fueran temas ajenos al arte y a la cultura. Desde el BID sabemos que el arte y la cultura han sido desde siempre un espacio de inspiración, de imaginación colectiva, y hoy pueden ser parte de la solución para crear avenidas de cambio y tomar un rol central en

los esfuerzos de recuperación (Mauricio Claver-Carone, presidente del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en Duque y Buitrago, 2021).

Eventualmente, durante mi participación en el programa Advancing Women in STEAM Fields pude evidenciar el potencial de la A (las artes) como elemento cohesionador y proyección directa de los STEM en la sociedad, avizorando cómo esta visión puede apalancar además desarrollos económicos adicionales y tan disruptivos como las tecnologías que intentan imitar procesos cognitivos naturales como la inteligencia y la creatividad humana. Rescatar la importancia que para Colombia tiene la economía naranja hace obligatorio manifestar el protagonismo internacional del país. Pocas naciones han reconocido el potencial del humano en la era de la cuarta revolución, y Colombia tiene un plan económico de reactivación pospandémica en el cual uno de los ejes principales es este tipo de industria tan revolucionaria e innovadora, tan moderna como la misma cuarta revolución. Puedo entonces apuntar al comienzo de la quinta no solo en el eje de la salud, sino en el de la salud mental apalancada en las tareas que elevan el espíritu de la humanidad como las artes.

Efectivamente,

las industrias creativas en nuestra región no solo están creciendo más rápido que la economía en su conjunto, sino que generan empleos que benefician en su mayoría a los jóvenes. Incluso en los emprendimientos creativos las mujeres tienen una mayor participación que en el resto de las empresas: ¡un 13 por ciento más! (Duque y Buitrago, 2021).

En términos de indicadores, América Latina y el Caribe puede ser líder global en la creación de contenidos.

4.5 OTRAS INDUSTRIAS DE INTERÉS PARA COLOMBIA

La Friedrich-Ebert-Stiftung sugiere que se contemplen otro tipo de industrias que se pueden convertir en IT 4.0. En este caso, estamos de acuerdo en que los sistemas de movilidad, aeronáutico/aeroespacial y naval son unos de ellos. Agregaré en este caso la capacidad natural

del sistema de seguridad y defensa nacionales de crear tecnología que pueda ser de exportación por medio de centros como Codaltec (Corporación de Alta Tecnología para la Defensa) del Ministerio de Defensa Nacional.

4.5.1 Sistemas de movilidad

La sociedad de sistemas de transporte inteligente del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) lleva años trabajando fuertemente en reunir expertos que logren solucionar problemas de movilidad y transporte en el ámbito global. Antes de pensar en la IT 4.0 de sistemas de transporte, el lector debe comprender que luego de la tercera revolución los sistemas públicos y privados de transporte se constituyen en columnas vertebrales de desarrollo y ordenamiento de ciudades en todo el mundo. Adicionalmente, los principios físicos que los rigen en su mayoría siguen las leyes de conservaciones de masa y energía. Sin embargo, cuando se incorporan progresivamente tecnologías el sistema comienza a convertirse más allá de un sistema vivo (que en su mayoría está siendo gestionado por seres humanos en condiciones de incertidumbre), en un sistema híbrido.

Contemplando meramente el área de los vehículos autónomos, dichos elementos del sistema cuentan con una serie de sensores que los ubican en un punto del espacio y sistemas de telecomunicaciones que los enlazan con los demás elementos del sistema que pueden ser cámaras, semáforos, etcétera.

Hasta en ciudades colombianas en las que no hay vehículos autónomos, la optimización de las rutas, los ciclos semafóricos y calendarios de los sistemas integrados de transporte público interactúan entre sí. La movilidad sostenible, entendida como la articulación de vehículos eléctricos y bicicletas, implica la incorporación de algoritmos matemáticos que además de automatizar procesos pueden apoyar a tomar decisiones como si fuera un tablero de control de dimensión infinita.

Lo anterior no está limitado necesariamente a sistemas tan modernos y complejos como el Metro de Medellín, que posee además de trenes, cables, tranvía y buses, un centro de control que permite obtener información del sistema en tiempo real y el diseño de acciones de control.

En esa vía, incluir en los sistemas de movilidad no solo el diseño de rutas sino variables de monitoreo de factores de calidad de aire para los usuarios son iniciativas reales en busca de inversión.

4.5.2 Aeronáutico / aeroespacial

Uno de los elementos diferenciadores de este tipo de políticas y que podría resultar bueno para nuestro país, puede ser la determinación reciente del ciberespacio como dominio integral de trabajo en que el Estado es el responsable por medio de la Fuerza Aérea Colombiana. Alemania tiene en su haber desde 2017 un comando del espacio cibernético e informático, cosa que ya se estaba implementando en los Estados Unidos de América.

Comparativamente con Polonia y Brasil, Colombia tiene también la capacidad de participar activamente de la industria aeroespacial 4.0.

Elementos adicionales a la proliferación de esta industria en Colombia están sustentados en la necesidad de disminuir los costos de movilidad aérea aumentando la existencia de partes, capacidad de mantenimiento, reparación, y de manera real, reemplazar o sustituir la dependencia de proveedores internacionales en la industria de transporte aéreo. El desarrollo de nuevos materiales de calidad aeroespacial redundará además en impactar horizontalmente otras industrias como la de maquinaria, dándole la capacidad al país de hacer ingeniería inversa o capitalizar procesos repetitivos de mantenimiento que el talento humano ha realizado en la última década.

Caescol (Clúster Aeroespacial Colombiano) es una iniciativa relevante en el ámbito aeronáutico y la conversión de las *start ups* que la conforman y otros socios en sinergias específicas a industrias 4.0 mediante estrategias de política, es un elemento que generará nuevos productos de exportación.

Actualmente se producen partes, sensores, vehículos aéreos no tripulados mediante uso de las tecnologías de la cuarta revolución. Para el país representa un reto que aumenta la calidad de los procesos no solo de diseño sino de manufactura.

No considero errada la iniciativa y visión de tener una constelación de satélites colombianos en órbita por lo que representa en términos de seguridad nacional y defensa en el contexto geopolítico en el que nos encontramos. Además, esa intencionalidad ha hecho que muchas universidades del país desarrollen capacidades no solo de desarrollar sistemas de observación de la tierra, telecomunicaciones, procesamiento, energías renovables puestas en nuestros satélites, sino también de articular redes de conocimiento que cumplen con las características de la IT 4.0. No sin mencionar las novedosas plataformas de lanzamiento de cohetes nacionales con nuestros satélites de pequeño tamaño.

4.5.3 Naval

En mi experiencia como evaluadora de proyectos de investigación para el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación he podido constatar el potencial innovador del ámbito naval.

En el ámbito nacional es factible que este dominio no sea de manejo popular y mucho menos se contemple la posibilidad de que represente una industria estratégica de desarrollo. En el transcurso de los años y en el camino al cumplimiento de su misión, investigaciones en esta materia se han llevado a cabo en dimensiones técnicas y científicas que reúnen posibles respuestas a preguntas que las variables de interacción de océano-atmósfera representan. No obstante, aparecen soluciones rápidas e inteligentes apoyadas en tecnologías convergentes para desarrollo de sensores, materiales, detección de fallas, navegabilidad u otras en las naves comerciales, militares y recreativas del país. El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar), la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval Marítima y Fluvial (Cotecmar) y la Armada Nacional son, entre otros, actores del CTel potenciales aliados en una cadena de valor horizontal con otras industrias 4.0 para escalar y masificar la producción de prototipos que pueden satisfacer la demanda regional en materia de tecnología naval.

4.5.4 Seguridad y defensa

Colombia ha experimentado en la historia reciente fenómenos sociales que han escalado en la atención de la comunidad internacional. Parte de este fenómeno ha perjudicado el desarrollo de la economía, limitando condiciones que numerosos países tienen. Materializar el conflicto interno como una externalidad negativa que al eliminarla de la ecuación y del análisis de las posibilidades de desarrollo económico basado en CTel puede resultar en imprecisiones.

Pese a ello, el país ha sabido desarrollar capacidades como las que he expuesto previamente. No obstante, esta situación ha forzado también a echar mano de la creatividad de muchos hombres y mujeres que han venido consolidando una serie de capacidades innovadoras en procesos de CTel durante los últimos veinte años y que representan el liderazgo del país en la región. De manera constante, los esfuerzos en materia de seguridad y defensa nacionales (como misión de las Fuerzas Militares) y de seguridad ciudadana y convivencia (misión de la Policía Nacional), han promovido procesos de adopción de tecnología, aprendizajes de saberes específicos que al cabo de un tiempo se han convertido en una naciente industria con enorme potencial de exportación dado que estos desarrollos pertenecen al Estado colombiano. Una oportunidad de oro para nuestra economía.

La adopción de tecnologías y su desarrollo en seguridad ciudadana hace parte de la reforma integral a la policía, para apalancar procesos de credibilidad y confianza y mejorar procesos en esta institución.

Desde un punto de vista netamente técnico, se sabe que los grandes desarrollos científicos y tecnológicos han sido apalancados por la unión de las fuerzas militares con la academia. Colombia no se queda atrás en materia de creación de soluciones innovadoras para los fines del Estado en esta dinámica creativa. Necesariamente, todas las tecnologías de la cuarta revolución están en el ADN de nuestra estrategia de seguridad y defensa que nos han permitido hasta ahora mantener una capacidad regional de disuasión de potenciales riesgos. La capacidad de Colombia de dominar el ciberespacio redundará en la habilidad de proveer seguridad y defensa en el aire,

el espacio, el agua y la tierra. Cada una de las Fuerzas Militares posee centros de I+D que continuamente producen bienes y servicios susceptibles de protección de propiedad intelectual (Álvarez, 2020). Luego, el Ministerio de Defensa, por medio de Codaltec (Corporación de Alta Tecnología para la Defensa), tiene capacidad de comercializar estos desarrollos.

Ninguno de ellos ha sido fruto de la acción solitaria en áreas STEM, ha sido el resultado de interacciones positivas con universidades y empresas y articulados de manera vertical y horizontal. Han sabido hacer uso de las externalidades para consolidarse como un nuevo elemento diferencial de exportación, luego de haber probado su uso y aplicabilidad en el muy particular ambiente de trabajo colombiano. Este tipo de ventaja tecnológica permite al país, así como a Alemania, Corea e Israel, garantizar el desarrollo de otras economías y realizar procesos de transferencia a otros ejes esenciales del Estado como las telecomunicaciones y la salud.

Es posible que en este análisis se escapen algunas industrias colombianas candidatas a ser 4.0, pero estoy dando por sentado el liderazgo de las empresas del sector de energía, que han protagonizado hace ya varios años incorporaciones exitosas de procesos de I+D+i en sus procesos, con indicadores de altísima competitividad y productividad. Ejemplos de ello son el Grupo EPM, Celsia-EPSA, Enel Colombia y Ecopetrol, entre otras que ya están en la cuarta revolución y siguen avanzando sólidamente.

Mas veo con pesar la miopía de algunas divisiones de investigación y desarrollo de compañías grandes en este sentido. Aparentemente, los miedos e incapacidades de relación con el ecosistema de CTel nacional les impide sobrepasar las barreras y comenzar a incorporar innovaciones en sus procesos, y más bien son los departamentos de la estructura vertical los que lideran las llamadas "transformaciones digitales" que, si bien se llevan a cabo por medio de procedimientos apropiados, no impactan la cadena de valor completa desde la materia prima hasta el bien que se exporta. Todavía hay muchas tareas por cumplir.

4.6 CREACIÓN DE PYMES Y START UPS

He hablado de industrias de cuarta revolución sin establecer una taxonomía en cuanto a su tamaño o antigüedad. En Colombia la mayor cantidad de empresas son pequeñas y medianas (pymes) que por su tamaño, experiencia y capacidad económica no pueden contratar individualmente con el Estado, el principal contrastista. Hace un par de años trabajamos en una iniciativa para el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo en articular por medio de tecnologías disruptivas un sistema inteligente (inteligencia artificial, aprendizaje de máquina y *block chain*) de apareamiento (en inglés *matching*) de pymes para gestión de uniones temporales para contratación estatal. Desde su concepción, este sistema brindaría la oportunidad de impulsar, mediante contratos millonarios, el crecimiento de este tipo de industrias. Muchas de estas pymes tienen procesos de industrialización de la cuarta revolución muy avanzados, puesto que por su tamaño ha sido muy fácil no solo la adopción de la tecnología sino también su implementación transversal en sus procesos y aliados. No obstante, la falta de visión impidió esta oportunidad. Esa experiencia ofreció, al menos a nuestro equipo, un cambio de visión y paradigma frente a los *desafíos* y *oportunidades* para impulsar o crear pymes y *start ups* 4.0.

En términos de oportunidades, la capacidad demostrada de la academia no solo de adoptar sino de generar conocimiento en procesos de CTel impacta a los profesionales, puesto que estos hallazgos hacen parte integral del currículo. Adicionalmente, las unidades de transferencia tecnológica de las universidades públicas y privadas se han encargado de estimular las iniciativas de emprendimiento de los egresados STEM. Así las cosas, en un ambiente STEM con alto contenido 4.0, las nuevas oleadas de *spin off* y *start ups* han venido consolidando ecosistemas de innovación que saltan a la vista en las grandes ciudades del país. En los observatorios de instituciones como Ruta N o de los parques de innovación comienzan a tejarse redes horizontales 4.0, lo cual gesta iniciativas que comienzan a ver la luz como respuesta a necesidades locales. En ese sentido, iniciativas sobresalientes se han convertido en productos bandera de exportación que han requerido inyección de capital de

ángeles inversionistas (que se benefician tributariamente, además) y que impulsan el escalado de los productos.

Un desafío es establecer políticas orientadas a fortalecer la capacidad de las pymes y de base tecnológica para recibir inversiones e inyecciones de capital que permitan

escalar a niveles superiores sus bienes y servicios, como impulso a la dinámica económica que requiere el país. En ese camino, sería errado responsabilizar al Estado completamente, lo ideal es articular alianzas temporales de pymes para contratar con el Estado.

5

PROPUESTA PARA COLOMBIA

Me he esforzado en presentar un texto que no sea netamente técnico (para ello existe una serie de publicaciones y activos de propiedad intelectual que respaldan nuestra experiencia), sino que, al contrario, desde la perspectiva de un científico pueda establecer factores sociales, económicos, geopolíticos y etnográficos que amplíen la visión tecnicista de las IT 4.0. Colombia es un país rico en complejidades y no linealidades que han dado cabida a soluciones muy originales a problemáticas específicas. La mujer y la juventud son claves en este camino STEAM (López, 2020; Duque y Buitrago, 2021).

La necesidad que un país desarrolle sus industrias a las 4.0 radica en que la formulación de nuevas y mejores soluciones redundará en la satisfacción de las necesidades internas en un marco de equidad, sostenibilidad y oportunidad para todos. Luego de ello, la generación de bienes y servicios de exportación llevan la economía a niveles de desarrollo competitivos reemplazando importaciones y anotando a la lista de productos básicos otra de productos de exportación. Recordemos que la tasa de cambio fluctuante es un enemigo del cambio estructural, y se trata de buscar estrategias para que su fluctuación no impacte procesos de inversión interna en I+D+i.

Pensar en el desarrollo del país con base en industrias 4.0 implica rescatar esencialmente el papel de la CTel en la generación de nuevas ideas que se materialicen en productos, más allá de la compra indiscriminada de tecnología extranjera. Sería imposible pensar que la solución a nuestra economía es desarrollar las IT 4.0 de cuenta de millonarias inversiones que terminan en arcas internacionales a tasas de cambio estratosféricas. Al contrario, *las empresas grandes con potencial de lograr su estatus 4.0 deben apalancar sus procesos de transformación digital en las pymes y las spinoffs y start ups beneficiándose de los millonarios incentivos que la Comisión Nacional*

de Beneficios Tributarios (CNBT) ofrece y que tristemente dejan desiertos muchos cupos al año, por la incapacidad o falta de conocimiento de relación con actores del CTel como universidades, centros de investigación o parques de desarrollo tecnológico. Es de anotar que los actores del CTel pueden ser un aval de supervisión técnica de estos procesos. Aquí está la triada completamente articulada y la base para impulsar el cambio estructural y tecnológico pasa por la interlocución real.

Por otro lado, el Estado debe contemplar la idea de establecer alianzas temporales de pymes entre ellas o con empresas grandes para llevar a cabo procesos millonarios de contrataciones en materia de infraestructura, modernización y gobierno digital. Si ya existe la capacidad instalada, ¿para qué cometer los errores de contrataciones millonarias en tecnología extranjera? De nuevo, la interlocución *real*.

Definiciones claras de políticas de productividad con las de CTel y el *enfoque* en sectores que prometen, es lección aprendida de los países que han venido desarrollándose.

Los párrafos anteriores cubren esencialmente ideas sencillas de cambio estructural para aplicar a empresas que desean migrar a la cuarta revolución, pero ¿qué hay de las nuevas?

En la sección anterior presenté una serie de oportunidades y evidencias de la capacidad de las empresas en sectores separados, ahora me permito ofrecer el conjunto completo como sistema que interactúa y que llamaremos sistema bio: agropecuario-industrial-servicios.

Retomando las definiciones de integración vertical y horizontal, nos permiten proponer un flujo de datos e

información entre las industrias 4.0 colombianas alrededor de algunos propósitos.

Para algunos académicos las retahílas acerca de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) suenan cacofónicas, las cuales además hay que usar para justificar cuanta idea de investigación tengamos. Más indisposición aún surge de las frases de cajón de sostenibilidad que ejecutivos jóvenes mantienen en sus discursos. Pero la verdad sea dicha, desde ningún punto de vista pueden convertirse en paisaje. Me rehúso a que estas metas se conviertan en mensajes transparentes de discursos fútiles y no sean elementos de acción en el desarrollo del país.

Sinceramente, ¡los Objetivos de Desarrollo Sostenible son el eslabón perdido en la interacción horizontal de las candidatas al reinado de la IT 4.0 de cualquier tamaño! Cada acción, cada decisión debe ser pensada en el logro de esos objetivos priorizando la interacción con *pymes* y *start ups* en el marco de la colaboración con los actores de CTel.

De acuerdo con esa premisa, no es ni siquiera necesario argumentar por qué la industria agro-pecuaria debe conversar directamente con la de alimentos, y entre ellas articular sus procesos con las empresas cuyo negocio es la fabricación de bienes orientados a las mismas, y en un análisis más profundo las estrategias de las compañías deben articularse con las cadenas de clientes y proveedores. Es imperdonable la importación de artículos que la empresa nacional puede brindar y la desarticulación de estas redes. Recordemos que, en el cambio estructural, se trata de usar las externalidades o *complementariedades* para el fortalecimiento y como estrategia de robustez y estabilidad frente a tasas de cambio variables.

Eventualmente en el texto he dejado marginada la industria de la electrónica. Este asunto puede ser sensible en el sentido que la mayor competencia en esta área no es nada menos que China y que para la fabricación de productos con componentes electrónicos en Colombia su importación es completamente necesaria. Este escenario ofrece oportunidades de conexiones horizontales a las empresas productoras de bienes que tengan integraciones electrónicas, las cuales pueden estimular la creación de redes de proveedores alrededor de su externalidad, disminuyendo costos de producción por sustitución

de importaciones. Cabe rescatar la capacidad instalada en el país para esta tarea.

En la política de desarrollo productivo las grandes empresas o conglomerados empresariales tienen un papel fundamental porque pueden sostener iniciativas a corto plazo, pero tienen la capacidad de forzar dinamizadores de inversión de largo aliento apoyadas en la ya demostrada ola de las *pymes* 4.0 creadas por innovadores emprendedores de los últimos diez años.

Dejémosle al Estado como regulador de las estrategias macroeconómicas que atienda la tasa de cambio, pero brindémosle herramientas de articulación de políticas de exportación de novedosos bienes y servicios producto de la articulación horizontal del ecosistema de I+D+i.

Supongo que el lector está esperando que aborde el asunto del músculo financiero. También estuve reflexionando sobre lo mismo los últimos tres años. Colombia cuenta con un sistema de cuatro bancos nacionales de desarrollo especializados, con prioridades sectoriales (Finagro, Bancóldex, Financiera de Desarrollo Nacional y Findeter), los cuales ofrecen crédito de redescuento y, en algunos casos, directo (Ocampo et al., 2018).

Obedeciendo a la reciente ola de pensamiento del papel del Estado en cuanto al desarrollo, reconozco que he sesgado y responsabilizado a nuestros bancos nacionales. Es importante reconocer entonces que no se trata únicamente de los tipos de incentivos que se pueden aprovechar y cuáles crear, sino de la definición del papel que deben desempeñar entidades como Bancóldex, Procolombia y los ministerios de Comercio, Industria y Turismo y de Ciencia, Tecnología e Investigación.

En un escenario progresista donde se mantengan como políticas de Estado no solo la productividad y competitividad sino la CTel, el papel de los bancos y entidades es fundamental para garantizar la continuidad de las acciones de los últimos tres años. Para la industria naranja 4.0 estos actores son claves, dado que es probable que sus aplicaciones no estén contempladas dentro de los fines últimos de las necesidades básicas que deben cubrirse en un país en desarrollo, pero *sí son elementos fundamentales de la capacidad colombiana en materia de exportación*. Programas orientados a la mujer y a la

juventud con tasas de interés bajas que permitan revisar el retorno de la inversión, con base en el análisis y el resultado global del sector económico en el país, dan luces de acciones a mediano y largo plazo. Las políticas recomendadas por Ocampo y Torres son apropiadas, pero rescato principalmente: “los esfuerzos por diversificar la estructura económica deben ir más allá, gravando y ciertamente reduciendo los incentivos que se otorgan a los sectores que carecen de externalidades, tienen una limitada difusión del aprendizaje y presentan complementariedades internas débiles” (Guzmán et al., 2018).

Adicional a ello, el uso de los fondos de regalías de los departamentos en reinversiones de CTel ha dado una serie de impulsos muy relevantes para la financiación de investigaciones de impacto dirigido a necesidades específicas. Esto es un modelo que impacta directamente el desarrollo de regiones con el respaldo de músculos productivos.

Afirmar que Colombia no ha sido exitoso en crear ambientes de emprendimiento, como incubadoras, aceleradoras y parques tecnológicos para desarrollar emprendimientos de alta tecnología o de base tecnológica, implica preguntarse lo siguiente: ¿es posible hacerlo ahora con las 4.0 como una actividad clave para suscitar un movimiento de start ups *que sean la base de una nueva generación de empresas innovadoras*? La respuesta positiva radica en el comienzo de la valoración de los activos de propiedad intelectual. Esencialmente, si las creaciones no se protegen pierden su valor económico y no pueden ingresar al ciclo del desarrollo. Sucede igual con las artes (creaciones) como con los productos derivados de la ciencia. ¿Qué posibilidad hay de incubarlo o acelerarlo si no se tiene adecuadamente protegido ni cuantificado el valor de los activos? Errores de esta naturaleza han hecho fracasar modelos que con múltiples propósitos han aparecido en ecosistemas dentro del país. A la hora de negociar, no hay forma de establecer una métrica de valoración apropiada y menos de competencia internacional. Sin protección de la propiedad intelectual difícilmente se podrán establecer modelos de mercado para estos nuevos candidatos a exportación.

La política de CTel para incrementar capacidades en investigación e incentivar *spin off* de las universidades

debe estar articulada también con la necesidad de la regulación bioética en materia de tecnologías convergentes NanoBioInfoCogno e industrias 4.0 que se asume en construcción; ya existe el lineamiento de política, que está a cargo de Minciencias. Sin embargo, es esencial considerar que existe gran desarticulación entre los entes reguladores y la capacidad científica del país.

Por otro lado, mejorando la educación, mejora la capacidad. Este postulado puede no ser muy bien recibido al comienzo, más cuando implica que el diseño de las estrategias y contenidos educativos debe tener una relación estrecha con la dirección del desarrollo de la CTel. Suecia tiene en su modelo de Gobierno ambos ministerios en uno solo. En este documento se declara que no es únicamente por medio del desarrollo de áreas STEAM como se puede dotar al país de una capacidad de desarrollo superior a los indicadores históricos. Para aumentar la capacidad de pensamiento crítico se deben fortalecer e involucrar otras áreas. La calidad de la enseñanza primaria y secundaria debe aumentar con la cualificación de los maestros y sus condiciones. Las instituciones de educación superior están listas para proveer dicha formación, ¿los maestros están dispuestos?

La mayor preocupación en un mundo globalizado en el cual la nanotecnología, biotecnología, informática y ciencias cognitivas (NBIC) y el IT 4.0 parecen ser el motor de una nueva industria de bienes y servicios, es tener el recurso humano que pueda satisfacer las necesidades a todos los niveles. Es por ello que el Ministerio de Educación tiene un papel fundamental y se requiere la flexibilización de las estructuras curriculares de las instituciones y del Sena. Se requieren técnicos y tecnólogos en áreas de mayor uso de la tecnología, equipos especializados y conocimientos en las tecnologías de la información y tecnologías convergentes.

En una era de posconflicto hay elementos que los académicos, empresarios y público general suelen olvidar, y es *el papel de la mujer en el desarrollo de las capacidades en ciencia, tecnología e innovación colombiana*. En una sociedad como la nuestra, el rol de la mujer en la recuperación y el establecimiento de la paz es primordial. La educación STEAM debe permitir a las niñas y los niños obtener resultados que se traduzcan en la garantía de

igualdad de oportunidades futuras para ambos en términos laborales, sociales y políticos (Unicef, 2015).

No podría cerrar este texto sin tratar en el marco de la cuarta revolución industrial la convergencia de estas tecnologías y la movilización de las industrias hacia los ejes fundamentales del desarrollo, el ser humano y su interacción con el planeta.

La riqueza de Colombia en materia de biodiversidad y de servicios ecosistémicos es además un factor diferencial de los países con los que se puede comparar. La nueva generación de industria colombiana 4.0 no debe ignorar el fenómeno del *cambio climático* y las capacidades del sistema de CTel deben confluír para abordarlo.

Para combatir y mitigar los efectos del cambio climático no solo se requiere de infraestructura para medir sino también de capacidad STEM de procesar, analizar, modelar y usar modelos matemáticos que permitan gestionar todas las dinámicas no lineales que este fenómeno macro implica. La asimilación de datos (AD) como técnica novedosa desde las matemáticas y la computación de reducir incertidumbres en modelos de gran escala, se complementa con todas las tecnologías base de la cuarta revolución en cuanto a la definición de un sistema ciberfísico en el cual los elementos sensores por medio del internet de las cosas confluyen capas de valor de análisis estadístico de *big data* y herramientas matemáticas en esquemas de computación en nube. Recientes desarrollos de satélites de pequeño formato de bajo costo dentro de la naciente industria aeroespacial colombiana pueden enlazarse con redes de sensores robustas favoreciendo la cooperación internacional.

La simulación y modelación numérica de este tipo de esquemas requiere alta capacidad de cómputo que, a su vez, provee esquemas de *toma de decisión* acertadas que mejoran en la medida que algoritmos de inteligencia artificial complementan los escenarios de decisión.

Como lo mencionan Niño-Ruiz y Sandu: “Con fundamento en expertos en el tema de AD, Colombia es un país donde la toma de decisiones, en diversos sectores

de la economía, podrá verse beneficiada a través de los esquemas de AD” (Niño-Ruiz y Sandu, 2019) (López-Resrepo et al., 2021a, 2021b).

Colombia tiene oportunidades para adoptar la cuarta revolución, pero tiene las capacidades de protagonizar la quinta. La capacidad innata de sobreponerse a la adversidad y encontrar soluciones creativas de los colombianos hace que sean muy valorados en los ecosistemas de CTel del mundo. Su natural ingenio y creatividad constituyen el pilar fundamental de una industria naranja 4.0 que exalte las artes como elemento constitutivo de una quinta revolución que ponga a los pies del humano y el ambiente los resultados innovadores que las tecnologías disruptivas de la cuarta propician.

La propuesta que hacemos de la *Human Centered Mathematics* como quinta revolución consiste en retornar a los fundamentos matemáticos de las tecnologías de la cuarta revolución orientados desde la *inteligencia artificial*. Esto implica pensar en esta área del conocimiento en convergencia con la neurociencia cognitiva puesto que hay recientes hallazgos sobre el cerebro y su funcionamiento, asunto que me ocupa como investigadora básica (en matemáticas) y desarrolladora de tecnología para mejoras de calidad de vida. Sistemas embebidos de *hardware* y *software* son elementos de potencial desarrollo que pueden poner en competencia a Colombia en mercados internacionales a corto plazo.

Basar desarrollos y nuevos productos y mercados en la inteligencia artificial implica evaluar además los principios sobre los cuales se diseñarán estos algoritmos. Elementos éticos desde 2019 comienzan a ser ejes de la adopción e implementación en industrias con influencia directa en los fundamentos de los derechos de la humanidad tales como la salud y la seguridad y defensa.

Nuestro país posee las condiciones para avanzar y sobrepasar desde el talento humano que debe calificarse los mercados actuales basados en estas tecnologías, yendo más allá de los bienes a los servicios que nuestra etnografía nos permite crear con los más altos estándares de calidad.

REFERENCIAS

- Álvarez Acosta, Pamela.** 2020. "La propiedad intelectual y la transferencia de tecnología para lograr un cambio estructural en Colombia". *Visión de Desarrollo Productivo para Colombia*. Mayo. Friedrich-Ebert-Stiftung. <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/16917.pdf>
- Acosta Puertas, Jaime.** 2020. "Cambio estructural y desarrollo en Europa, Asia y América Latina 2030. Aprendizajes para Colombia". *Visión de Desarrollo Productivo para Colombia*. Noviembre. Friedrich-Ebert-Stiftung. <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/16913.pdf>
- Brynjolfsson, E. y A. McAfee.** 2014. *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W.W. Norton & Company. New York.
- Duque, Iván y Felipe Buitrago.** 2021. *Economía naranja. Una realidad infinita*.
- López Montaña, Cecilia.** 2020. "La economía del cuidado: un nuevo sector productivo". *Visión de Desarrollo Productivo para Colombia*. Noviembre. <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/16872-20201124.pdf>
- López-Restrepo, S., E. D. Nino-Ruiz, L. G. Guzmán-Reyes, A. Yarce, O. L. Quintero, N. Pinel y A. W. Heemink.** 2021a. "An efficient ensemble Kalman Filter implementation via shrinkage covariance matrix estimation: Exploiting prior knowledge". *Computational Geosciences*. 25 (3), 985-1003.
- López-Restrepo, S., E. D. Nino-Ruiz, L. G. Guzmán-Reyes, A. Yarce, O. L. Quintero, N. Pinel y A. W. Heemink.** 2021b. "A Robust Ensemble-based Data Assimilation Method using Shrinkage Estimator and Adaptive Inflation". *Earth and Space Science Open Archive ESSOAr*.
- Mintic.** 2019. "Aspectos básicos de la industria 4.0". https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-124767_recurso_1.pdf
- Navas-Sierra, J. A. (ed.).** 2019. *Tecnologías disruptivas del proceso de globalización*. Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. Bogotá. doi <http://dx.doi.org/10.16925/9789587601268>
- Niño-Ruiz, E. y O. L. Quintero.** 2019. "Asimilación de datos: mecanismo de apoyo para el desarrollo integral de Colombia". En Elías D. Niño-Ruiz et al. *Colombia y la nueva revolución industrial*. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Medellín. DOI: <https://doi.org/10.17230/9789585135116vdy>
- Nino-Ruiz, E. D. y A. Sandu.** 2019. "Efficient Parallel Implementation of DDDAS Inference using an Ensemble Kalman Filter with Shrinkage Covariance Matrix Estimation". *Cluster Computing*. 22 (1), 2211-2221.
- Ocampo, J. A. y J. D. Torres.** 2020. "Cambio estructural y dinámica macroeconómica: los retos colombianos". *Análisis. Economía y Finanzas*. Abril. <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/16109.pdf>
- Sukhodolov, Y. A.** 2019. "The Notion, essence and peculiarities of Industry 4.0 as a sphere of industry". En E. G. Popkova et al. *Industry 4.0: industrial revolution of the 21st century*. Springer. Warsaw.

ACERCA DE LA AUTORA

Olga Lucía Quintero Montoya. Ingeniera de control, doctora en ingeniería de sistemas de control. Investigadora senior Minciencias. Profesora titular, Departamento de Ciencias Matemáticas, Universidad EAFIT. Trabaja en inteligencia artificial y asimilación de datos en sistemas de gran escala. Cofundadora de las *spin off* HuMath y Simple-Space/Universidad EAFIT.

PIE DE IMPRENTA

Friedrich-Ebert-Stiftung (FES)
Calle 71 n° 11-90 | Bogotá-Colombia

Responsable

Kristina Birke Daniels

Representante de la FES Colombia

María Fernanda Valdés

Coordinadora de proyectos

mvaldes@fescol.org.co

Bogotá, enero de 2022

SOBRE ESTE PROYECTO

Presente en el país desde 1979, la Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia (Fescol) busca promover el análisis y el debate sobre políticas públicas, apoyar procesos de aprendizaje e intercambio con experiencias internacionales y dar visibilidad y reconocimiento a los esfuerzos en la construcción de paz.

Como fundación socialdemócrata, nos guían los valores de la libertad, la justicia y la solidaridad. Mediante nuestras actividades temáticas, ofrecemos un espacio de re-

flexión y análisis de la realidad nacional, promoviendo el trabajo en equipo y las alianzas institucionales con universidades, centros de pensamiento, medios de comunicación, organizaciones sociales y políticos progresistas. En el marco de estos esfuerzos desarrollamos grupos de trabajo con expertos (académicos y técnicos) y políticos, así como foros, seminarios y debates. Además, publicamos policy papers, análisis temáticos y libros.

Para más información, consulte

<https://www.fes-colombia.org>

El uso comercial de los materiales editados y publicados por la Friedrich-Ebert-Stiftung (FES) está prohibido sin autorización previa escrita de la FES.

