



Ciencia, tecnología e innovación

Cooperación, integración y desafíos regionales



NACIONES UNIDAS

CEPAL



CELAC

Comunidad de Estados
Latinoamericanos y Caribeños

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.



www.cepal.org/es/publications



www.cepal.org/apps



Ciencia, tecnología e innovación

Cooperación, integración y desafíos regionales



NACIONES UNIDAS

CEPAL



CELAC

Comunidad de Estados
Latinoamericanos y Caribeños

José Manuel Salazar-Xirinachs

Secretario Ejecutivo

Raúl García-Buchaca

Secretario Ejecutivo Adjunto para Administración y Análisis de Programas

Mario Castillo

Oficial a Cargo de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial

Sally Shaw

Directora de la División de Documentos y Publicaciones

Este documento fue preparado por Nicolo Glijo, Álvaro Calderón y Sebastián Rovira, funcionarios de la Unidad de Innovación y Nuevas Tecnologías de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Se agradecen los aportes, en la sección sobre transición energética, de Rayén Quiroga, Jefa de la Unidad de Agua y Energía de la División de Recursos Naturales de la CEPAL, y Diego Messina, Consultor experto en energía de la misma División.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2022/156
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2022
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.22-00896

Esta publicación debe citarse como: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Ciencia, tecnología e innovación: cooperación, integración y desafíos regionales* (LC/TS.2022/156), Santiago, 2022.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Presentación y mensajes principales	5
Capítulo I	
Panorama estilizado en materia de ciencia, tecnología e innovación (CTI) en América Latina y el Caribe.....	7
A. Sistemas subfinanciados y orientados a la investigación por sobre el desarrollo experimental	7
B. La institucionalidad de apoyo a la CTI ha avanzado, pero aún muestra debilidades.....	10
C. Necesidad de renovar el papel estratégico de las políticas de CTI.....	11
Capítulo II	
Lineamientos para un nuevo período: CTI para el desarrollo de sectores dinamizadores de la economía y la sociedad	15
A. Industria manufacturera de la salud	15
B. Transición energética	19
C. Electromovilidad	23
D. Ecoinnovación y producción sostenible.....	27
Bibliografía.....	31
Cuadros	
I.1 América Latina y el Caribe: principales instrumentos utilizados para promover la ciencia, la tecnología y la innovación	11
II.1 Patentes mundiales y de América Latina y el Caribe en áreas de la salud, 1980-2019.....	18
II.2 Tecnologías de generación de energía eólica.....	22
II.3 Comparación entre los subsistemas de un autobús convencional y uno eléctrico	26
II.4 América Latina y el Caribe (8 países), España y Estados Unidos: gasto público en investigación y desarrollo (I+D) con objetivos medioambientales, último año con información disponible	29
II.5 Patentes totales y en materias ambientales por cada millón de habitantes, 2000-2009 y 2010-2018	29
Gráficos	
I.1 América Latina y el Caribe y países y bloques seleccionados: gasto en investigación y desarrollo como proporción del PIB, 2013-2020.....	8
I.2 América Latina y el Caribe (14 países): gasto en investigación y desarrollo como proporción del PIB, 2014-2020.....	8
I.3 Países y bloques seleccionados: gasto en investigación y desarrollo, por sector de financiamiento, 2019.....	9
I.4 Países y bloques seleccionados: gasto en investigación y desarrollo, por sector de ejecución, 2019	9

I.5	América Latina y el Caribe (9 países) y otros países seleccionados: gasto en investigación y desarrollo, por tipo de actividad, alrededor de 2018	10
II.1	América Latina y el Caribe (11 países): autobuses eléctricos en circulación, por modelo, abril de 2022.....	24

Diagramas

II.1	Sistema de innovación en salud.....	16
II.2	América Latina y el Caribe: balance energético resumido, 2020	20
II.3	Determinantes de la ecoinnovación y su relación con la producción y el consumo sostenibles	28
II.4	Matriz de políticas para la producción sostenible	30

Presentación y mensajes principales

El objetivo de este documento es contribuir al diálogo regional que se llevará a cabo durante la Reunión de Ministros, Ministras y Altas Autoridades en Ciencia, Tecnología e Innovación de la Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños (CELAC).

El mensaje principal es que las políticas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) tienen que desempeñar un papel central no solo en la construcción de capacidades nacionales en investigación y desarrollo, sino que también en la solución de problemas y desafíos nacionales en el marco de las políticas de desarrollo de los países.

América Latina y el Caribe mantiene una situación de debilidad relativa de sus sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación en relación con países más desarrollados, e incluso en comparación con algunas economías emergentes, y presenta notorias diferencias de un país a otro.

El gasto en investigación y desarrollo como proporción del PIB en la región es bajo, está financiado principalmente por el Estado y es ejecutado por el sector académico. En concordancia con ello, en la región la investigación básica y aplicada predomina por sobre el desarrollo experimental.

Si bien la institucionalidad de apoyo a la CTI ha mostrado avances importantes en los últimos años, ya sea a través de la creación de ministerios temáticos o del fortalecimiento de las instituciones especializadas, la ciencia, la tecnología y la innovación no muestran un papel destacado en las políticas de desarrollo productivo y social, ni en los presupuestos de los países.

La batería de instrumentos de política de apoyo a la ciencia, la tecnología y la innovación parece incompleto e insuficiente para generar un impulso importante en este ámbito. El uso extendido, prácticamente como único instrumento, de fondos concursables orientados por la demanda ha traído como consecuencia gran dispersión de proyectos con bajo financiamiento, priorización de proyectos de corto plazo y condicionados por los ciclos políticos, y áreas temáticas asociadas a desafíos nacionales insuficientemente abordadas.

En los últimos años, los responsables del diseño de políticas en América Latina han comenzado a constatar que la ciencia, la tecnología y la innovación no pueden verse como un componente aislado de otras materias de preocupación de los Gobiernos y de la sociedad en general. El abordaje de muchos temas que desafían a las sociedades de la región, tanto en lo público como en lo privado, requiere el concurso de la mirada científico-técnica, pues se trata de problemas cada vez más complejos.

En un escenario de debilidad estructural, escasez de recursos y necesidad de escala para lograr resultados, surge la necesidad de orientar los recursos destinados a apoyar la ciencia, la tecnología y la innovación, o al menos una parte de ellos, hacia áreas del conocimiento relacionadas con los principales desafíos que enfrentan los países.

Así, muchos países, especialmente las economías avanzadas, han comenzado a revitalizar la política industrial vinculada a sistemas nacionales de innovación complejos, integrales y dotados de capacidades, lo que ha permitido movilizar capacidades productivas, técnicas y de conocimiento para abordar los principales desafíos del desarrollo. Es decir, se prioriza el apoyo a ciencia, tecnología e innovación que permitan avanzar en la solución de desafíos específicos, aunque sin descuidar el desarrollo de capacidades científicas más generales que posibiliten ampliar las fronteras del conocimiento. Este enfoque requiere la articulación de diferentes actores —Gobierno, sector académico, sector privado y sociedad civil—, así como nuevos arreglos institucionales dirigidos a coordinar y fortalecer capacidades de formulación y gestión de política.

Desde la perspectiva de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la región debe avanzar en un cambio estructural progresivo, en que la estructura productiva y de servicios se redefine hacia sectores más intensivos en conocimientos, con tasas de crecimiento de la demanda y del empleo más altas. Al mismo tiempo, se debe preservar la calidad de los recursos naturales y el medio ambiente, y los servicios que prestan.

En ese contexto, la ciencia, la tecnología y la innovación deben aportar al desarrollo de sectores y actividades dinamizadoras de la economía y la sociedad. En el segundo capítulo de este documento se profundiza en cuatro de ellos: la industria manufacturera de la salud, la transición energética, la electromovilidad, y la ecoinnovación y producción sostenible.

Panorama estilizado en materia de ciencia, tecnología e innovación (CTI) en América Latina y el Caribe

América Latina y el Caribe, como ya se indicó, mantiene una situación de debilidad estructural relativa de sus sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación en relación con países más desarrollados, e incluso con algunas economías emergentes. Por otra parte, la situación dentro de la región es heterogénea¹.

A. Sistemas subfinanciados y orientados a la investigación por sobre el desarrollo experimental

La región muestra un evidente rezago en materia del gasto en investigación y desarrollo (I+D) no solo con respecto a países más desarrollados, sino también en comparación con algunas economías emergentes, como es el caso de China. Esta brecha se ha ido incrementando en los últimos años.

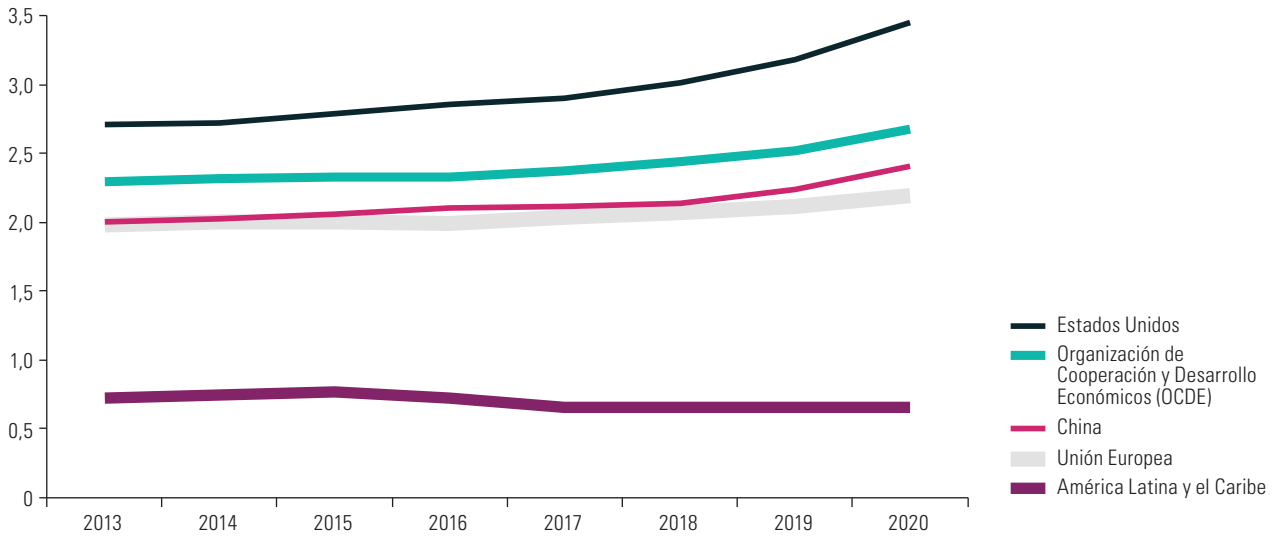
En los Estados Unidos, la Unión Europea, los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y China el gasto en I+D como proporción del producto interno bruto (PIB) supera el 2%. Esta cifra llega al 3,4% en el caso de los Estados Unidos y al 4,8% en el de la República de Corea. Además, entre 2013 y 2020 el gasto en I+D relativo al PIB en dichos países y bloques aumentó entre 0,2 y 0,7 puntos porcentuales. En América Latina y el Caribe el gasto en I+D relativo al PIB es unas cuatro veces menor y se redujo del 0,72% del PIB en 2013 al 0,65% en 2020 (véase el gráfico I.1).

La situación dentro de la región es heterogénea. En montos absolutos, la Argentina, el Brasil y México representan el 86% del gasto en la región en 2020. El Brasil por sí solo representa el 65% y también lidera en términos relativos, pues destina un 1,17% de su PIB a I+D. Le siguen Cuba, el Uruguay y la Argentina, con cerca del 0,5% (véase el gráfico I.2).

¹ Este capítulo está basado principalmente en el documento *Innovación para el desarrollo: la clave para una recuperación transformadora en América Latina y el Caribe* (LC/CCITIC.3/3/-*) y en las conclusiones de la Tercera Reunión de la Conferencia de Ciencia, Innovación y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la CEPAL, realizada del 13 al 15 de diciembre de 2021.

Gráfico I.1

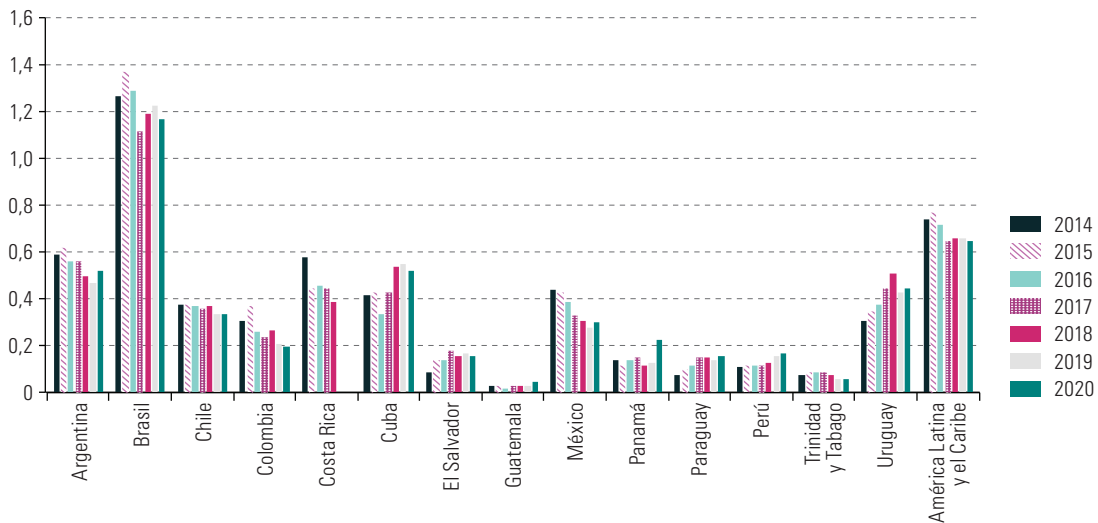
América Latina y el Caribe y países y bloques seleccionados: gasto en investigación y desarrollo como proporción del PIB, 2013-2020
(En porcentajes)



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de información de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT) [en línea] <http://www.ricyt.org>, para América Latina y el Caribe, y Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), OECD.Stat [base de datos en línea] <http://stats.oecd.org/>, para los Estados Unidos, la Unión Europea, la OCDE y China.

Gráfico I.2

América Latina y el Caribe (14 países): gasto en investigación y desarrollo como proporción del PIB, 2014-2020
(En porcentajes)



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de información de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT) [en línea] <http://www.ricyt.org>.

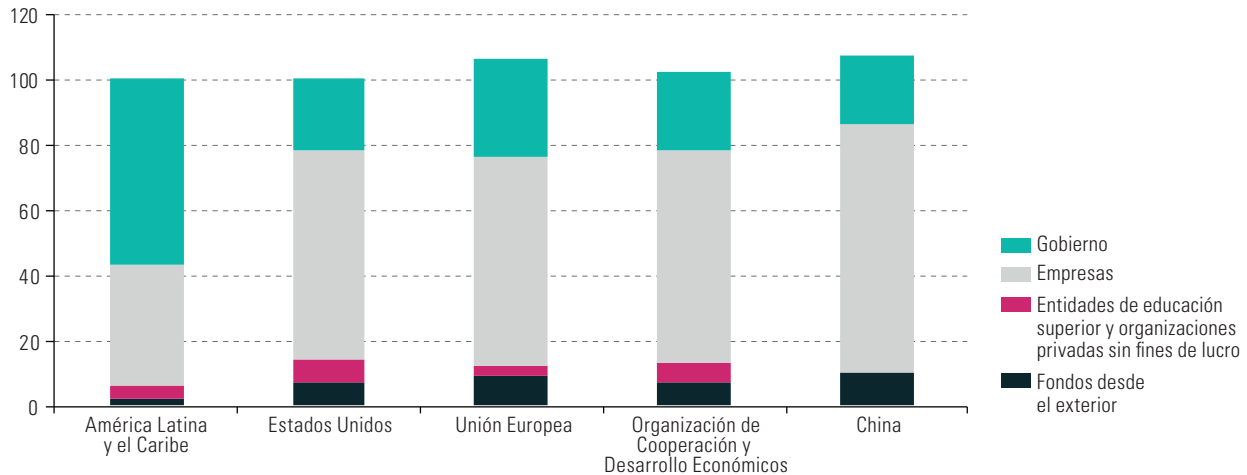
Nota: En el caso de América Latina y el Caribe, los datos son estimaciones.

América Latina y el Caribe mantiene la estructura de financiamiento y ejecución del gasto que la ha caracterizado en las últimas décadas. La mayor parte del financiamiento del gasto en I+D proviene del Estado, y dicho gasto es ejecutado principalmente por el sector académico, a diferencia de lo que ocurre en los países más desarrollados, donde las empresas son las principales entidades que financian y ejecutan el gasto.

La participación de las empresas en el financiamiento de la I+D supera el 60% en los Estados Unidos, la Unión Europea y la OCDE, y alcanza casi el 80% en China. En cambio, en la región la contribución de las empresas es de alrededor del 35%, mientras que el Estado aporta el 60% (véase el gráfico I.3). La caída del gasto en I+D en los países de la región está vinculada con la reducción del aporte de los Gobiernos a este rubro, que pasó del 62,5% en 2013 al 56,5% en 2019.

Gráfico I.3

Países y bloques seleccionados: gasto en investigación y desarrollo, por sector de financiamiento, 2019
(En porcentajes)

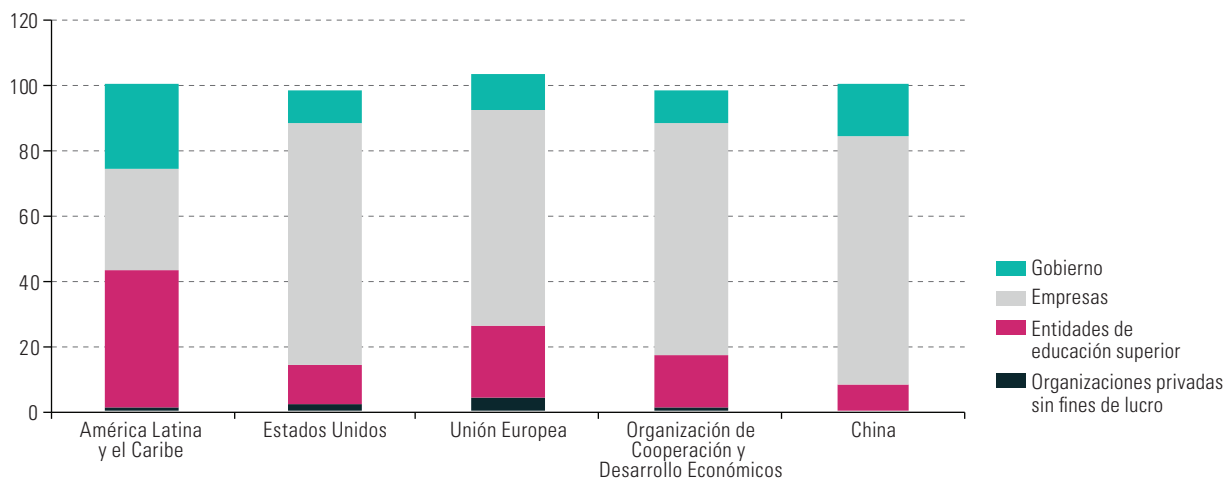


Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de información de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT) [en línea] <http://www.ricyt.org>, para América Latina y el Caribe, y Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), OECD.Stat [base de datos en línea] <http://stats.oecd.org/>, para los Estados Unidos, la Unión Europea, la OCDE y China.

En la región, la ejecución del gasto en I+D muestra una escasa participación del sector empresarial, ya que las empresas ejecutan alrededor del 30% del total. Por otra parte, en las economías con mayores niveles de desarrollo, las empresas ejecutan entre el 65% y el 75% del total. En los países de la región, las universidades desempeñan un destacado papel en la ejecución de las actividades de I+D, que se concentran sobre todo en la investigación básica (véase el gráfico I.4).

Gráfico I.4

Países y bloques seleccionados: gasto en investigación y desarrollo, por sector de ejecución, 2019
(En porcentajes)



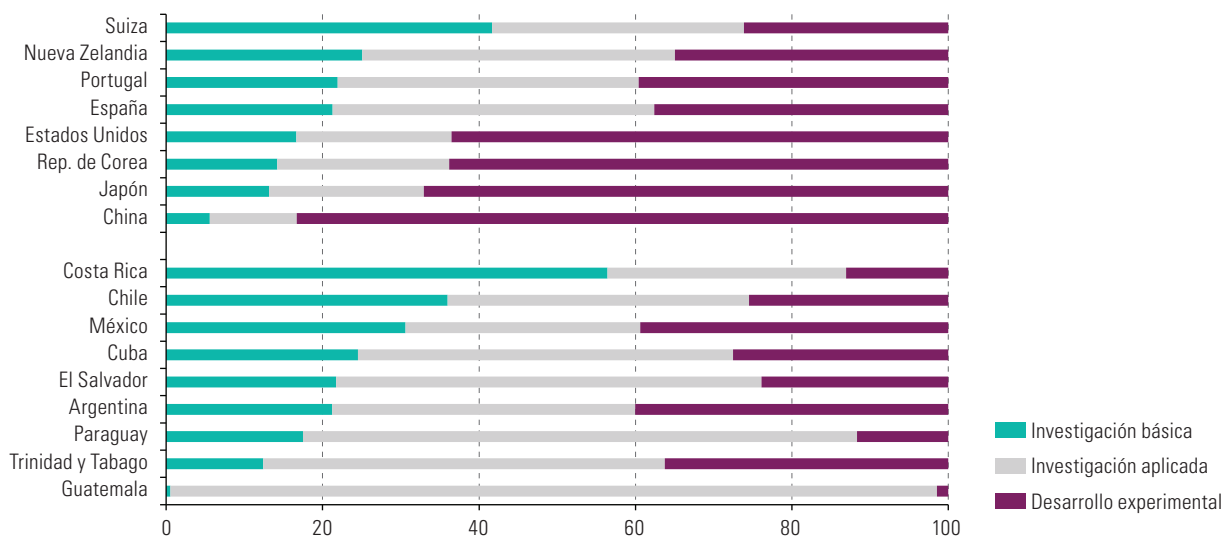
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de información de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT) [en línea] <http://www.ricyt.org>, para América Latina y el Caribe, y Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), OECD.Stat [base de datos en línea] <http://stats.oecd.org/>, para los Estados Unidos, la Unión Europea, la OCDE y China.

Los países de la región destinan el gasto en I+D principalmente a la investigación básica, mientras que en los países más desarrollados predomina el desarrollo experimental (véase el gráfico I.5). En consecuencia, en los países de la región las universidades desempeñan un papel destacado en la ejecución de las actividades de I+D.

Gráfico I.5

América Latina y el Caribe (9 países) y otros países seleccionados: gasto en investigación y desarrollo, por tipo de actividad, alrededor de 2018

(En porcentajes)



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de información de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT) [en línea] <http://www.ricyt.org> e Instituto de Estadística de la UNESCO, UIS.Stat [en línea] <http://data.uis.unesco.org/>.

B. La institucionalidad de apoyo a la CTI ha avanzado, pero aún muestra debilidades

La institucionalidad pública de apoyo a la ciencia, la tecnología y la innovación ha mostrado avances importantes en los años recientes. Se han introducido modificaciones institucionales en varios países de América Latina y el Caribe, lo que ha permitido la creación de ministerios u otras instituciones de alto nivel político a cargo de esta área². No obstante, el establecimiento de estas nuevas entidades no ha redundado necesariamente en un papel más activo de la ciencia, la tecnología y la innovación en las políticas de desarrollo productivo y social.

El aumento del estatus institucional de la ciencia, la tecnología y la innovación no se ha visto reflejado en un incremento presupuestario y, en algunos casos, se han registrado disminuciones³. Adicionalmente, es común observar modificaciones importantes en las prioridades y en la orientación de las políticas como consecuencia de los cambios administrativos que realizan los nuevos Gobiernos. Por último, no siempre se trata de políticas explícitas que estén establecidas en un documento formal, sino más bien de un conjunto de medidas de diferente índole que los Gobiernos han adoptado a lo largo del tiempo. En muchas ocasiones es necesario revisar los instrumentos de apoyo que se están aplicando para inferir a partir de estos la política.

² En 13 de los 21 países analizados existe un ministerio, un organismo con rango ministerial o un órgano adscrito al Poder Ejecutivo que está a cargo de las políticas de ciencia, tecnología e innovación.

³ Las causas pueden ser múltiples, pero una hipótesis razonable se basa en un panorama fiscal caracterizado por el estancamiento de los ingresos. Esta situación, sumada a la expansión del gasto para responder a demandas sociales, y recientemente para hacer frente a la pandemia de enfermedad por coronavirus (COVID-19), habría socavado la disponibilidad de recursos para los presupuestos asignados a la ciencia y la tecnología.

En la región, los mecanismos o instrumentos más comunes de apoyo a la ciencia, la tecnología y la innovación son la asignación de subsidios, en general sobre la base del modelo de fondos concursables, y el apoyo a la formación de recursos humanos por medio de becas para estudios superiores. También se observa la implementación de nuevos instrumentos, pero en una distribución más heterogénea (véase el cuadro I.1).

Cuadro I.1

América Latina y el Caribe: principales instrumentos utilizados para promover la ciencia, la tecnología y la innovación

Instrumentos	Número de países que cuentan con instrumentos en este ámbito
Financiamiento de la investigación y desarrollo (I+D)	
Fondos para la promoción de la investigación científica y tecnológica	17
Incentivos docentes a la investigación científica y tecnológica	6
Fondos de mejora de equipamiento e infraestructura	6
Fondos para la creación de clústeres, polos tecnológicos e incubadoras de empresas	5
Formación de personas	
Becas de estudios de grado, posgrado y posdoctorado	16
Programas de creación y apoyo a posgrados	8
Apoyo a la innovación empresarial	
Fondos para la promoción de la innovación y la competitividad de las empresas	19
Crédito tributario a la I+D	9
Créditos para el escalamiento de proyectos de innovación	2
Programas de capacitación técnica	11
Apoyo al emprendimiento	
Programas de apoyo al emprendimiento	9
Promoción de áreas prioritarias	
Programas de áreas prioritarias	12
Fondos sectoriales	6

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT), "Políticas CTI. Políticas en Ciencia, tecnología e Innovación en Iberoamérica" [en línea] http://www.politicasciti.net/index.php?option=com_zoo&view=frontpage&lang=es&Itemid=53, para un total de 21 países, e información de fuentes nacionales.

Los instrumentos se han organizado fundamentalmente sobre la base de un modelo orientado hacia la demanda. Según ese modelo, los actores más confiables para definir los proyectos de investigación e innovación son los investigadores, en el caso de la ciencia y la tecnología, y las empresas, cuando se trata de innovación. Dado que estos actores enfrentan deficiencias de mercado que obstaculizan la realización de sus proyectos, los instrumentos primordiales de política son las subvenciones que se otorgan sobre la base de convocatorias o concursos gestionados por organismos públicos especializados. En este mecanismo, el papel de dichos organismos tiende a circunscribirse a la administración de los proyectos y luego a su seguimiento, fundamentalmente desde el punto de vista financiero.

C. Necesidad de renovar el papel estratégico de las políticas de CTI

Los elementos descritos configuran un escenario complejo para avanzar en políticas de ciencia, tecnología e innovación con un enfoque de impacto económico, social y medioambiental. Como se indicó anteriormente, los países de América Latina y el Caribe tienden a priorizar el apoyo a la investigación básica, y en menor medida investigación aplicada, realizada en universidades e institutos de investigación. Para ello, los Gobiernos cuentan con instrumentos relativamente maduros, que canalizan una porción importante del gasto público en investigación y desarrollo hacia dichas instituciones. La contracara de esta situación es el estancamiento relativo de la participación de las empresas en el financiamiento y la ejecución de actividades de I+D en la región.

La combinación de instrumentos de política de apoyo a la innovación parece incompleta e insuficiente para impulsar un gran salto. Si bien existen factores propios del entorno económico que pueden inhibir la innovación empresarial, la falta de apoyos tales como el crédito para la innovación y las compras públicas innovadoras, disponibles en muchos países desarrollados, limita las posibilidades de que las empresas emprendan proyectos innovadores.

Los mecanismos existentes para definir la orientación de las iniciativas de ciencia, tecnología e innovación atentan contra el fortalecimiento de las capacidades y el abordaje de importantes desafíos nacionales. En una región con escasos recursos, y en un ámbito en que la escala cumple un papel importante, dicha estrategia de baja proactividad en el direccionamiento debiera a lo menos revisarse.

Lo anterior ha traído como consecuencia un sistema de apoyo a la ciencia, la tecnología y la innovación caracterizado por los siguientes aspectos:

- proyectos con un débil financiamiento, lo que redundará en que muy pocos avancen hasta la fase de introducción al mercado y afecta su impacto socioeconómico;
- una gran dispersión de los proyectos de investigación e innovación, lo que atenta contra la conformación de masas críticas de investigadores y de empresas intensivas en innovación y limita el aprendizaje compartido y la competitividad de los países;
- una priorización *de facto* de proyectos de corto plazo, que no tienen la capacidad de abordar ciertas áreas del desarrollo estratégico de los países (situación que se ve agravada cuando se suceden Gobiernos de diferente signo político), e
- insuficiente abordaje de áreas de investigación asociadas a desafíos nacionales, puesto que se encuentran fuera del alcance de las capacidades o de las prioridades de los investigadores y las empresas.

La región tiene por delante un conjunto importante de desafíos, entre lo que se cuentan: fortalecer la institucionalidad pública de apoyo al desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación; elevar el compromiso del sector privado con la innovación para la productividad y la competitividad; mejorar la vinculación de las políticas de ciencia, tecnología e innovación con los desafíos estratégicos de la región, e impulsar la cooperación regional e internacional en materia de ciencia, tecnología e innovación.

En los últimos años, los responsables de la formulación de políticas en América Latina han comenzado a constatar que la ciencia, la tecnología y la innovación no constituyen un área separada de otras materias de preocupación de los Gobiernos y de la sociedad en general.

El abordaje de muchos temas que desafían a las sociedades de la región, tanto en lo público como en lo privado, requiere el concurso de la mirada científico-técnica, pues se trata de problemas cada vez más complejos. Esto implica necesariamente orientar los apoyos públicos en el ámbito de la ciencia, la tecnología y la innovación, o al menos una parte de ellos, hacia áreas del conocimiento relacionadas con los principales desafíos que enfrenta cada país. En especial, las políticas públicas pueden influir en la orientación y la intensidad de los esfuerzos privados en esta área, sobre todo a la hora de hacer frente a los desafíos cuando las señales del mercado resultan insuficientes y la coordinación es más desafiante.

Las tendencias actuales de política se orientan a abordar y superar los principales desafíos que enfrenta un país en los planos económico, social o ambiental mediante la movilización de las capacidades productivas, técnicas y de conocimiento. No se pierde de vista que en el abordaje de esos desafíos el país fortalece su sistema nacional de innovación y sus capacidades productivas. Se trata de una política industrial de nuevo cuño, que ya no está centrada en los sectores productivos, sino en los problemas o desafíos. Desde esta perspectiva, no cabe esperar una causalidad automática entre el desarrollo de la ciencia de base y sus posteriores aplicaciones industriales, que pueden estar muy distantes. Se trata de apoyar la investigación (sobre todo la investigación aplicada) que permita avanzar hacia la solución de un desafío específico⁴.

⁴ Las respuestas científicas o tecnológicas que se requieren para abordar esos desafíos no necesariamente provendrán de iniciativas de I+D desarrolladas en el propio país, sino que en muchas oportunidades se deberá recurrir a soluciones creadas en otras latitudes.

Una de las características de este enfoque se refiere a la necesaria articulación entre diferentes actores, y muy particularmente entre los sectores gubernamental, académico y empresarial. La innovación pasa a ser un ámbito de política de todas las áreas de gobierno, lo que hace necesarios nuevos arreglos institucionales que faciliten la coordinación y el fortalecimiento de las capacidades de formulación y gestión de política.

Todo lo anterior indica que el dinamismo de los procesos de cambio técnico y el surgimiento de nuevos desafíos nacionales (que han quedado en evidencia con la irrupción de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) y los riesgos derivados del calentamiento global) exigen revisar de manera permanente las temáticas que abordan los investigadores e innovadores en el país, así como comprobar la eficacia de los instrumentos disponibles y la necesidad de establecer otros nuevos.

En el siguiente capítulo se abordarán algunos de los sectores o áreas en que las políticas de ciencia, tecnología e innovación están llamadas a aportar en un contexto de nuevas prioridades y de cooperación e integración regional.

Lineamientos para un nuevo período: CTI para el desarrollo de sectores dinamizadores de la economía y la sociedad

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) plantean la urgencia de avanzar hacia nuevos modelos de crecimiento y desarrollo, con patrones de consumo y producción más sostenibles e inclusivos, tanto en lo económico como en lo social y lo ambiental. Se trata de impulsar una economía que sea respetuosa con el medio ambiente, que se base en la utilización de las energías renovables y los combustibles limpios, y en que las cadenas productivas hagan un uso eficiente de la energía, el agua y los demás recursos, de forma que se limite la producción de desechos y emisiones de gases de efecto invernadero y se potencien la reducción del consumo, la reutilización, el reciclaje y la recuperación de los insumos empleados.

Según lo plantea la CEPAL (2020), América Latina y el Caribe debe avanzar hacia un cambio estructural progresivo, en que la estructura productiva se redefina hacia sectores más intensivos en conocimientos, con tasas de crecimiento de la demanda y del empleo más altas. Al mismo tiempo, se deben preservar la calidad y los servicios que prestan los recursos naturales y el medio ambiente. Estas transformaciones exigen la coordinación de las políticas tecnológicas e industriales, fiscales, financieras, ambientales, sociales y regulatorias. A continuación, se presentan cuatro sectores o áreas que cumplen con las características antes mencionadas y en los cuales las políticas de ciencia, tecnología e innovación tienen un papel destacado que cumplir.

A. Industria manufacturera de la salud

La industria manufacturera de la salud, constituida por las industrias farmacéutica y de dispositivos médicos, desempeña un papel crucial en las economías modernas. Esta industria es estratégica, ya que provee productos y servicios destinados a mejorar las condiciones de vida y de salud de las personas; genera empleos de alta calidad, con sólidos encadenamientos productivos, e impulsa el progreso técnico, por cuanto tiene una alta intensidad en investigación y desarrollo e importantes externalidades en materia de conocimiento⁵.

⁵ Véanse mayores detalles sobre las características de la industria manufacturera de la salud en la región en CEPAL (2021 y 2020).

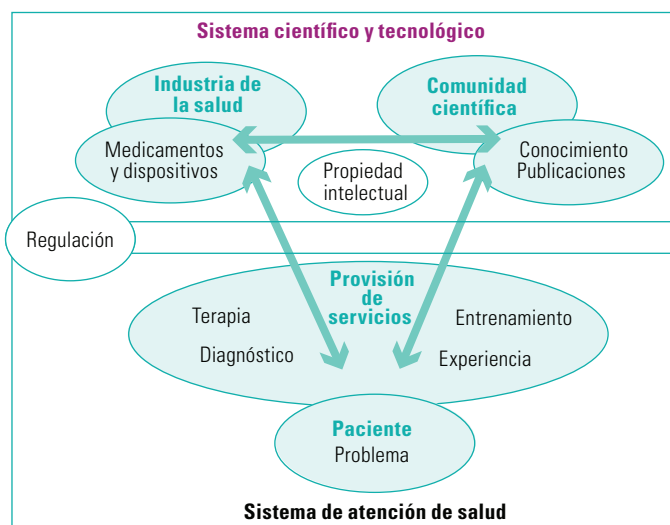
La pandemia de COVID-19 y la disrupción que provocó en las cadenas de suministros dejaron en evidencia las debilidades de esta industria en la región. Los episodios críticos de falta de acceso, primero a equipamiento médico y luego a vacunas, fueron el resultado no solo de las tradicionales asimetrías de acceso entre países desarrollados y en desarrollo, sino también de problemas estructurales de larga data, en particular el insuficiente desarrollo de las capacidades de investigación y productivas regionales.

Es urgente disminuir el alto grado de dependencia de la región respecto de las empresas transnacionales y fortalecer las capacidades científicas, tecnológicas y productivas para desarrollar industrias locales más resilientes y autosuficientes frente a futuras emergencias sanitarias⁶. En este contexto, las políticas de ciencia, tecnología e innovación tienen un importante papel que cumplir.

El desarrollo de innovaciones en el sector de la salud se enmarca en un sistema bastante complejo en el que interactúan múltiples actores (véase el diagrama II.1). Se trata de un sistema sujeto a estrictas regulaciones públicas y altamente internacionalizado.

Diagrama II.1

Sistema de innovación en salud



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de D. Consoli y A. Mina, "An evolutionary perspective on health innovation systems", *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 19, N° 2.

En el caso del sector farmacéutico, las grandes empresas transnacionales, cuyas casas matrices están principalmente en los Estados Unidos, Alemania, Francia, el Reino Unido y Suiza, han mantenido un énfasis significativo en la introducción de nuevos medicamentos, sobre todo biofármacos orientados a mercados de alta rentabilidad, pero también han diversificado sus fuentes de producción de principios activos en países de Asia, especialmente China y la India, ya sea en plantas propias o de terceros. La producción de productos genéricos (tanto en forma de principios activos como de medicamentos en su formulación final) se ha ido concentrando cada vez más en los países asiáticos, sobre todo la India y China.

El mercado farmacéutico latinoamericano se abastece de medicamentos genéricos producidos en su mayoría por empresas que operan localmente, así como de medicamentos innovadores (protegidos por patentes) que son importados y comercializados por empresas transnacionales. Las actividades productivas que se realizan en el territorio latinoamericano tienden a concentrarse en los eslabones finales de la cadena de valor. Incluyen las tareas de formulación, manufactura, logística y distribución de productos en los que se utilizan principios activos importados, principalmente desde Asia.

⁶ En ese sentido, en marzo de 2021, el Gobierno de México, en el ejercicio de la Presidencia *pro tempore* de la CELAC, solicitó a la CEPAL la elaboración de un plan de autosuficiencia sanitaria para América Latina y el Caribe, orientado a fortalecer las capacidades productivas y de distribución de vacunas y medicamentos en la región. Dicho plan fue presentado y aprobado en la Sexta Cumbre de Jefes de Estado y de Gobierno de la CELAC, en septiembre de 2021 (véase CEPAL, 2021a).

El porcentaje del PIB destinado a investigación y desarrollo en el ámbito de la salud en América Latina es de una magnitud muy inferior al que se registra en los países de la OCDE. Si bien no existe información agregada para la región, según la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT), en 2018 este indicador en el caso de la disciplina de las ciencias médicas fue del 0,065% en la Argentina, el 0,042% en Chile y el 0,063% en el Uruguay. En el caso de los países de la OCDE, se puede estimar que esa cifra alcanza niveles que están entre un 0,35% y un 0,5% del PIB (OCDE, 2018), muy superiores a los observados en los países de la región⁷.

En el sistema científico-tecnológico confluyen la comunidad científica y la industria. En los países de la región, las ciencias médicas representan entre un 10% y un 20% del gasto destinado a investigación y desarrollo. La conformación de una sólida base de investigadores en el campo de las ciencias de la salud y la biotecnología ha redundado en que una proporción importante de esos fondos se destine a proyectos en universidades e institutos tecnológicos. El grueso de la actividad de investigación y desarrollo en los países de la región tiende a desarrollarse en universidades y laboratorios públicos, cuando estos existen.

La industria abarca las empresas que investigan y desarrollan nuevos productos y servicios en el ámbito de los productos farmacéuticos y dispositivos médicos. En esta categoría se incluyen tanto las grandes empresas como los emprendimientos de base científico-tecnológica. En general, las empresas regionales no participan en las sofisticadas dinámicas de innovación que se registran en los países desarrollados y, cada vez más, en países como la República de Corea y China. En el caso de la industria farmacéutica local regional, gran parte de los fármacos elaborados corresponden a productos basados en principios activos genéricos, lo que redundo en actividades de investigación y desarrollo circunscritas a procesos de formulación de medicamentos, investigación médica y realización de ensayos clínicos de baja escala para lograr la autorización de sus medicamentos en el mercado local.

Las industrias de dispositivos médicos también muestran, a nivel agregado, un bajo esfuerzo innovador en la región. Ello se debe a múltiples factores: en aquellos países donde han instalado plantas de manufactura, las empresas transnacionales no han establecido unidades de investigación y desarrollo, las que suelen permanecer en sus países de origen (Gereffi, Frederick y Bamber, 2019); en la mayoría de los países, las empresas de capitales nacionales concentran su producción en bienes de complejidad tecnológica baja y media; el modelo de innovación de esta industria, con integración de múltiples tecnologías y esencialmente incremental, no atrae la atención de los investigadores de las universidades.

Un componente muy relevante en el sistema científico-tecnológico es el relacionado con la protección de la propiedad intelectual de los productos creados en las empresas y en las instituciones de investigación. La actividad de patentamiento en las industrias de la salud en América Latina y el Caribe se concentra sobre todo en invenciones presentadas por empresas internacionales, con muy bajo índice de introducción de productos innovadores de origen local. Por lo general, este proceso se limita a reproducir presentaciones ya realizadas en otros países de origen. Como se observa en el cuadro II.1, las patentes otorgadas a residentes latinoamericanos en el sector de la salud, que incluye las categorías farmacéutica y de tecnologías médicas, representaron solo un 0,52% del total de las otorgadas a nivel mundial en 2019. Si bien se observa un constante incremento de esta participación en el campo de las tecnologías farmacéuticas, ello solo ha permitido alcanzar un número de 314 patentes otorgadas, un 0,8% del total mundial, en 2019.

Este bajo nivel de patentamiento es resultado directo de la desvinculación existente entre los núcleos de investigación de la región y las empresas del sector. Ello se relaciona, por una parte, con los escasos incentivos para patentar que históricamente han existido en las universidades e institutos tecnológicos y, por otra, con el hecho de que las empresas farmacéuticas que producen en la región se han especializado cada vez más en los productos genéricos, cuyas patentes han caducado. Estas empresas no suelen tener la capacidad para llevar adelante el tipo de esfuerzos que se necesitan para conseguir la introducción de productos innovadores a escala mundial⁸.

⁷ De acuerdo con OCDE (2018), en 2014 los presupuestos gubernamentales para investigación y desarrollo en el ámbito de la salud de los países de esa Organización ascendieron a un 0,1% del PIB, a lo que debe sumarse entre un 0,05% y un 0,2% para la investigación universitaria y un 0,2% para las investigaciones realizadas por las empresas. Sobre esa base se puede estimar que entre el 0,35% y el 0,5% del PIB se invierte en I+D relacionada con la salud.

⁸ Según Schlander y otros (2021), el costo promedio de investigación y desarrollo asociado al lanzamiento de un nuevo medicamento oscila entre los 161 millones de dólares y los 4.540 millones de dólares.

Cuadro II.1

Patentes mundiales y de América Latina y el Caribe en áreas de la salud, 1980-2019

(En números y porcentajes)

	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Patentes farmacéuticas									
Total mundial	7 374	9 982	9 408	12 397	14 748	21 455	29 038	38 830	39 245
América Latina y el Caribe	34	43	21	37	66	125	174	304	314
Participación de la región en el total <i>(En porcentajes)</i>	0,46	0,43	0,22	0,30	0,45	0,58	0,60	0,78	0,80
Patentes de tecnologías médicas									
Total mundial	7 177	10 678	12 865	15 206	18 592	24 573	36 499	56 486	72 152
América Latina y el Caribe	56	33	64	39	73	247	295	213	266
Participación de la región en el total <i>(En porcentajes)</i>	0,78	0,31	0,50	0,26	0,39	1,01	0,81	0,38	0,37
Patentes de salud									
Total mundial	14 551	20 660	22 273	27 603	33 340	46 028	65 537	95 316	111 397
América Latina y el Caribe	90	76	85	76	139	372	469	517	580
Participación de la región en el total <i>(En porcentajes)</i>	0,62	0,37	0,38	0,28	0,42	0,81	0,72	0,54	0,52

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de información de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT) y Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), "Estadísticas de propiedad intelectual" [en línea] <https://www.wipo.int/ipstats/es/>.

En distintos países se observa la existencia de núcleos de capacidades de investigación no exclusivamente universitarios. Al contar con financiamientos basales públicos, han podido desarrollar proyectos de investigación con horizontes de ejecución y escalas de recursos que los han acercado a las fases de producción. En esta categoría cabe incluir a laboratorios públicos de larga tradición y con capacidad de producción, como el Instituto Butantan y la Fundación Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) en el Brasil, el Instituto Leloir y la Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud Dr. Carlos G. Malbrán (ANLIS Malbrán) en la Argentina y el Institut Pasteur en el Uruguay, o fundaciones privadas como la Fundación Ciencia & Vida en Chile.

Estas entidades han sido esenciales en la introducción de productos como las vacunas, la incubación de empresas emergentes y el desarrollo de capacidades, lo que ha demostrado ser una importante fuente de conocimientos en situaciones como la surgió con la irrupción del COVID-19.

En el sistema de atención de salud, los nuevos productos son puestos a disposición de los centros médicos para su prescripción a los pacientes (en el caso de los medicamentos) o para su utilización con fines clínicos (en el caso de los dispositivos médicos). Los hospitales y los médicos cumplen una importante función en el sistema de innovación al proveer de retroalimentación a las empresas productoras acerca del comportamiento en la práctica de los nuevos productos tecnológicos introducidos en el desempeño habitual de su trabajo clínico.

El sistema de innovación en salud puede verse afectado por la forma que se adopte la adquisición de nuevas tecnologías sanitarias, en particular por el sistema de compras públicas. Si el Estado es un cliente propenso a la adopción de innovaciones en el ámbito de la salud, esto provocará un efecto positivo en el sistema de innovación.

Los sistemas reguladores son los responsables de garantizar que los medicamentos y dispositivos médicos que se producen o comercializan en un país cumplan los requisitos mínimos de seguridad, calidad y eficacia. La situación de las capacidades de regulación sanitaria en la región es heterogénea. Según una evaluación de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2020), de 33 países miembros de la región, 6 cuentan con autoridades reguladoras nacionales de referencia regional, 13 tienen las bases jurídicas y estructuras orgánicas necesarias para contar con un sistema regulatorio integral, 7 poseen algunas de las bases jurídicas y estructuras orgánicas necesarias, y otros 7 no disponen de dichas capacidades. Existe además una correlación positiva entre el tamaño de los países y su capacidad reguladora. Un esfuerzo de aceleración de la convergencia regulatoria parece un requisito ineludible para robustecer los sistemas de innovación de las industrias de la salud en la región.

El desafío que representó para los países de América Latina y el Caribe la llegada del COVID-19 dio origen a un proceso de reevaluación de las opciones estratégicas que gran parte de ellos impulsaron a partir de mediados de la década de 1990. Desde entonces se había impuesto la tendencia a confiar en el abastecimiento externo como fuente privilegiada para aprovisionarse de medicamentos y dispositivos médicos. A raíz de la pandemia, se ha establecido claramente una nueva prioridad de fortalecimiento de las capacidades nacionales y regionales de las industrias de la salud.

El avance hacia el cumplimiento del objetivo de autosuficiencia sanitaria exige un esfuerzo de gran envergadura a nivel nacional y regional. Ello guarda relación con múltiples rasgos de estas industrias: i) la centralidad de la ciencia, la tecnología y la innovación en el desempeño de esta industria y las diferencias existentes en cuanto a las capacidades disponibles en este plano entre los países de la región y los que están más avanzados; ii) el carácter acumulativo de la formación de conocimiento científico, tecnológico y productivo, que exige iniciativas de política coherentes y de largo plazo; iii) la multiplicidad de actores públicos y privados y de instituciones del conocimiento que interactúan con objetivos diversos, lo que conlleva un esfuerzo permanente de alineamiento, y iv) la existencia de considerables economías de escala en la producción, lo que pone de relieve la importancia de los esfuerzos encaminados a ampliar el acceso a los mercados regionales para ser competitivos con los grandes productores mundiales.

Para avanzar en la conformación de sistemas de innovación asociados a las industrias de la salud que contribuyan a la resiliencia de los países ante situaciones como la creada por el COVID-19 será necesario combinar esfuerzos de política a nivel nacional con iniciativas de colaboración entre los países de la región.

A nivel nacional es necesario: i) incrementar el aporte público a las actividades de investigación y desarrollo; ii) aumentar la escala y los plazos de los proyectos que se ejecutan; iii) fortalecer los centros de excelencia públicos, universitarios o privados; iv) promover la conexión entre los actores del sistema de innovación de las industrias de la salud, y v) mejorar los procesos de patentamiento, registro y aprobación de productos y procesos innovativos de las industrias de la salud.

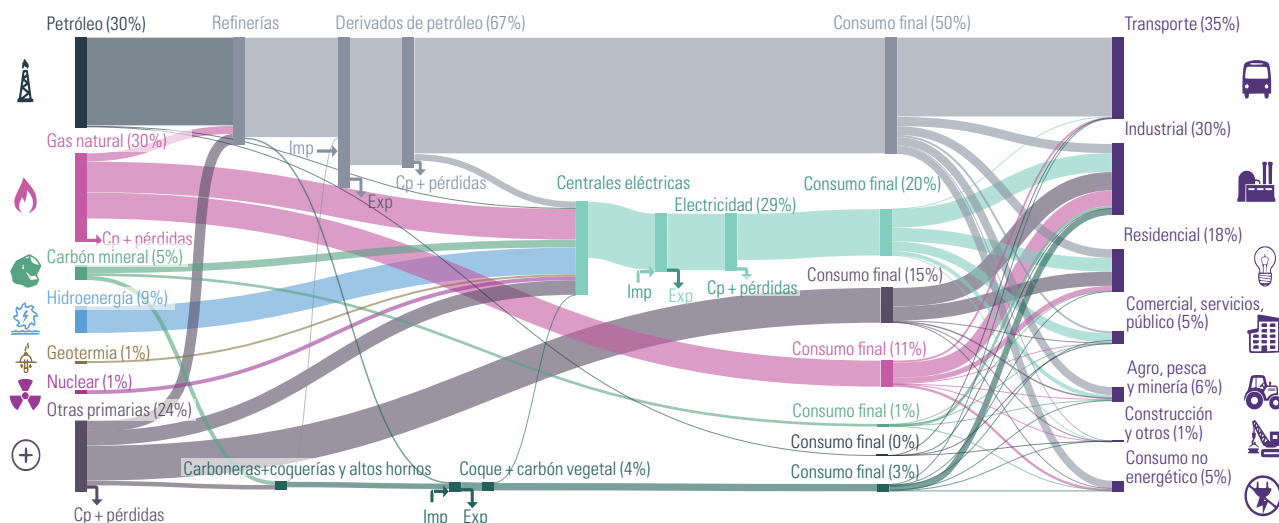
Por otra parte, a fin de fortalecer la colaboración regional, es necesario: i) elaborar programas de innovación orientados a resolver problemas o desafíos regionales, para que sean ejecutados por consorcios transnacionales regionales; ii) impulsar el proceso de integración formativa y el intercambio de estudiantes e investigadores; iii) extender y formalizar el reconocimiento mutuo del registro de medicamentos; iv) complementar la capacidad instalada en los países con una plataforma regional de ensayos clínicos, orientada a consolidar estándares regulatorios comunes y reconocidos; v) regular las estrategias de adquisiciones mediante la creación de una base de proveedores que ofrezcan garantías de cumplimiento de estándares de calidad, seguridad y oportunidad de abastecimiento y precios adecuados, y vi) fortalecer los mecanismos regionales para la compra conjunta de medicamentos y dispositivos médicos en situaciones de emergencia sanitaria.

B. Transición energética

El combate del cambio climático requiere transitar hacia una matriz de suministro energético, así como a formas de consumo, bajas en carbono mediante la incorporación creciente de las energías basadas en fuentes renovables y limpias. Este proceso debe tener lugar en el contexto de un fuerte crecimiento de la oferta de energía de la región, que se ha multiplicado por 2,4 en los últimos 50 años, con una leve disminución de la intensidad energética del PIB regional. Dentro de la producción primaria de energía, las fuentes renovables han crecido levemente más rápido, hasta representar un 33% en 2020, lideradas históricamente por la hidroenergía, pero con un mayor crecimiento de las energías eólica, solar, de biomasa y, más recientemente, geotermia.

La matriz energética regional está dominada por los combustibles fósiles, que representaron el 65% del suministro primario de energía en 2020. En términos sectoriales, el transporte es el mayor consumidor final de energía en la región (35%), la que proviene casi exclusivamente de combustibles fósiles, seguido por la industria (30%) y el uso residencial (18%) (véase el diagrama II.2).

Diagrama II.2
América Latina y el Caribe: balance energético resumido, 2020
(En porcentajes)



Fuente: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), *Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2021*, Quito, 2021 [en línea] <https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2021/>.

Nota: Todos los flujos que proceden de la izquierda corresponden a la oferta total de cada una de las fuentes de energía. La categoría "otras primarias" incluye biogás, residuos vegetales, productos de caña, leña, solar y eólica. Imp: importaciones; Exp: exportaciones; Cp: consumo propio del sector energético.

Por otra parte, se observa una cierta tendencia hacia la electrificación de los sectores de transporte, residencial e industrial. Pero el desafío que implica satisfacer la potencial demanda de electrificación en la región es de gran magnitud. Estudios de la CEPAL (2020) concluyen que el sector eléctrico regional tendrá prácticamente que duplicar su generación para satisfacer la demanda proyectada, y al mismo tiempo se requieren cuantiosas inversiones en la infraestructura y las redes de distribución, en gran parte obsoletas e ineficientes.

Las energías renovables, particularmente las energías eólica y solar, ya muestran costos competitivos con las de origen fósil, en especial gas y carbón⁹. Ello aparece como una condición necesaria pero no suficiente para acelerar la transición energética, lo que resulta imprescindible en el contexto de la crisis climática y la necesidad de construir una nueva economía basada en energías renovables en los países de la región.

Satisfacer de manera limpia y sostenible la creciente demanda eléctrica, derivada del desarrollo económico y de necesidades de incrementar la electrificación, exige reemplazar combustibles fósiles por energías renovables, promover y afianzar las iniciativas de integración eléctrica regional y concentrar los esfuerzos en flexibilizar la gestión de las redes eléctricas nacionales. Junto con aumentar la eficiencia del uso de la energía a nivel sectorial, se requiere expandir la generación y el uso de las energías renovables, como la solar, la eólica, la geotérmica y la bioenergía. Dichas energías favorecen "la sostenibilidad ambiental, la soberanía energética, la disminución de la vulnerabilidad externa (sobre todo en el caso de países importadores netos de combustibles fósiles), las oportunidades de universalización del acceso a la electricidad (por ser modulares y descentralizadas), el aprendizaje tecnológico y el crecimiento económico (por las inversiones que suponen)" (CEPAL, 2020, pág. 135).

Según CEPAL (2020), la transición energética de la región debe contribuir a resolver los problemas y las deficiencias estructurales mediante una transformación productiva que añada valor, innovación y tecnología para hacer más eficiente el consumo de energía y reducir la emisión de gases de efecto invernadero, como

⁹ Estos valores a escala global dependen de la escala de producción, la tecnología utilizada y el momento de puesta en marcha. Por lo tanto, los precios internos de la energía proveniente de distintas fuentes en cada país pueden ser diferentes.

resultado de un menor uso de hidrocarburos. La transición energética es un proceso de construcción de un ecosistema de regulación, gobernanza e instrumentos orientados a impulsar en forma simultánea los siguientes cinco pilares: i) incrementar las energías renovables en la matriz, ii) universalizar el acceso de la población a la electrificación y reducir la pobreza energética, iii) incorporar mayor eficiencia energética en todos los sectores productivos, iv) alcanzar una mayor complementariedad e integración entre los sistemas energéticos de la región y v) construir seguridad y resiliencia energética regional ante choques externos.

Por supuesto, se debe tener en consideración que para llevar adelante la transición energética los países tienen disponible una batería de instrumentos que incluye, entre otros, regulación, incentivos fiscales y mecanismos de financiamiento a la inversión, y que el fomento a la innovación tecnológica es un componente más dentro de este conjunto. La innovación y el desarrollo de energías renovables abarca no solo su generación (por ejemplo, hidrolizadores para hidrógeno verde), sino también su distribución y, de muy alta relevancia, el almacenamiento en baterías, para lo que la región se encuentra perfectamente dotada de minerales críticos como el litio y el cobre.

Por otra parte, se recomienda evaluar la combinación más adecuada para cada territorio o situación subnacional (como es el caso de ciudades o localidades remotas, aisladas o rurales). Por ejemplo, las energías eólica y solar son las de más bajo costo relativo, pero debido a su variabilidad durante el día y las estaciones del año requieren de mayor inversión en almacenamiento y tienen mayores costos de operación. Las energías geotérmicas son relativamente más costosas, pero su producción es mucho más estable, mientras que los biocombustibles se producen de forma más estable y son almacenables, pero requieren un manejo cuidadoso de las emisiones y un cultivo sostenible de las materias primas (biomasa) que utilizan, considerando los costos de oportunidad respecto de la producción de alimentos. Todas las alternativas requieren internalizar las necesidades de las comunidades locales, que son vitales para la transición energética entendida en forma integral.

Desde el punto de vista de los requerimientos de investigación y desarrollo tecnológico en el ámbito de las energías renovables, se deben considerar las tecnologías que se describen a continuación¹⁰.

Energía solar fotovoltaica

Las principales tecnologías de generación eléctrica a partir de celdas solares fotovoltaicas son: cristal de silicio (c-Si), telurio de cadmio (CdTe), celdas de cobre, indio, galio y seleniuro (CIGS) y silicio amorfo (a-Si). Actualmente, los módulos de cristal de silicio son la tecnología fotovoltaica dominante en el mercado, con el 95% de las adiciones de capacidad solar fotovoltaica a nivel global en 2020 (AIE, 2020). Sin embargo, la trayectoria tecnológica a futuro aún es incierta. El Banco Mundial estima una composición en que el 50% es cristal de silicio y el resto de las tecnologías se distribuyen en partes iguales, pero también considera escenarios alternativos a 2050 en los que la participación de mercado de cada una de las tecnologías podría alcanzar el 50% (Hund y otros, 2020).

Energía eólica

En la actualidad, la mayoría de las instalaciones de generación de energía eólica están en tierra firme (*onshore*). Los generadores en alta mar (*offshore*) representan menos del 0,5% de la capacidad eólica instalada a nivel mundial. Las principales tecnologías, tanto en aplicación en la actualidad como previstas a largo plazo, se resumen en el cuadro II.2.

La tecnología GB-DFIG domina más del 70% del mercado. La participación de la tecnología DD-PMSG se duplicó en los últimos diez años, hasta alcanzar un 20% en 2020. Se espera que las tecnologías DD-PMSG alcancen el 40% del mercado de las tecnologías en tierra en 2040 (IEA, 2020). En el mercado de las tecnologías en alta mar, las centrales de imanes permanentes representan el 76%.

¹⁰ Esta sección se basa en el trabajo de Leañez (2022), cuya elaboración fue solicitada por la CEPAL.

Cuadro II.2

Tecnologías de generación de energía eólica

Tipo de generador	Sigla	Tipo de turbina	Aplicación
Acople directo (<i>direct drive</i>)	DD-HTS	Superconductores de alta temperatura (<i>high-temperature superconductors</i> (HTS))	En alta mar
Acople directo (<i>direct drive</i>)	DD-EESG	Generador sincrónico impulsado por electricidad (<i>electrically excited synchronous generator</i> (EESG))	En tierra
Engranaje (<i>gearbox</i>)	GB-EESG	Generador sincrónico impulsado por electricidad (<i>electrically excited synchronous generator</i> (EESG))	En tierra
Acople directo (<i>direct drive</i>)	DD-PMSG	Generador sincrónico de imanes permanentes (<i>permanent magnet synchronous generator</i> (PMSG))	En tierra y en alta mar
Engranaje (<i>gearbox</i>)	GB-PMSG	Generador sincrónico de imanes permanentes (<i>permanent magnet synchronous generator</i> (PMSG))	En tierra y en alta mar
Engranaje (<i>gearbox</i>)	GB-DFIG	Generador de inducción de doble alimentación (<i>double-fed induction generator</i> (DFIG))	En tierra y en alta mar
Engranaje (<i>gearbox</i>)	GB-SCIG	Generador de inducción de jaula de ardilla (<i>squirrel cage induction generator</i> (SCIG)) Sin convertidor completamente en tierra	En tierra
Engranaje (<i>gearbox</i>)	GB-SCIG	Generador de inducción de jaula de ardilla (<i>squirrel cage induction generator</i> (SCIG)) Con convertidor completamente en alta mar	En alta mar
Engranaje (<i>gearbox</i>)	GB-WRIG	Generador de inducción de rotor bobinado instalado en tierra (<i>wound rotor induction generator</i> (WRIG) <i>onshore</i>)	En tierra

Fuente: F. Leañez, "Intensidad de materiales en la transición energética de América Latina: estimaciones sobre la base de un escenario de integración energética de América del Sur", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2022/46), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.

Baterías

El desarrollo de las tecnologías de baterías facilita la acumulación y la flexibilidad en el uso de las energías renovables. Estas se pueden separar en tres tipos: plomo-ácido, iones de litio¹¹ y otras. La categoría "otras" se refiere a variantes de almacenamiento químico como níquel-hidruro metálico, flujo redox, sodio-azufre y otras composiciones en desarrollo.

Hund y otros (2020) estimaron la participación de mercado de las baterías a 2050. En el caso de los vehículos eléctricos, proyectan una participación de los iones de litio del 100% y que el uso de baterías de plomo-ácido disminuirá linealmente hasta llegar a cero en 2030. Para la red industrial, proyectan participaciones del plomo-ácido de entre un 2,5% y un 5%, de los iones de litio de entre un 70% y un 84%, del flujo redox de entre un 2,8% y un 3,7%, y de otras tecnologías de entre un 9,8% y un 25%. Para la generación distribuida (DG), estiman que la participación del plomo-ácido será del 33%, la de los iones de litio del 33% y la de otras tecnologías del 33%.

Energía geotérmica

La energía geotérmica puede tener el mayor potencial de todas las fuentes de energías renovables, en la medida en que se avance en las tecnologías de perforación profunda. La mayor parte del costo de construcción de una central geotérmica corresponde a la perforación (tanto exploratoria como de explotación).

Biomasa

Los carbohidratos que acumulan las plantas verdes a partir de la captura de la energía solar se pueden emplear como combustibles al secar y quemar dicho material para liberar la energía térmica, o se pueden fermentar para producir olefinas (metano y etano) y alcoholes (metanol y etanol). Se debe avanzar en la eficiencia de dichos procesos.

¹¹ El litio se ha transformado en un recurso fundamental en la cadena global de valor de las baterías eléctricas y las estrategias de electromovilidad. La relevancia del litio en la última década ha promovido en los países de la región, especialmente en el llamado "triángulo del litio" (Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de) y Chile), una discusión sobre la capacidad productiva y la sostenibilidad del aprovechamiento del litio, la distribución de las rentas y el aporte de la actividad minera a la diversificación productiva mediante el desarrollo de proveedores, tecnologías, innovación e investigación. Véase, por ejemplo, Jiménez y Sáez (2022).

Energía solar de concentración

En el caso de la energía solar de concentración (*concentrated solar power* (CSP)), las dos principales tecnologías son los colectores de cilindro parabólicos y los sistemas de torre central. Los colectores de cilindro parabólicos representaron más del 80% de las adiciones de capacidad de energía solar de concentración en 2010, pero su participación ha ido disminuyendo constantemente desde entonces, cediendo el mercado a los sistemas de torre central, que tienen mayor eficiencia y capacidad de almacenamiento. Las torres centrales representaron alrededor del 60% de las adiciones de capacidad de energía solar de concentración en 2020, y se espera que su participación aumente al 75% para 2024 (AIE, 2020).

Por otra parte, más allá del conjunto de tecnologías descritas, cada vez existe más acuerdo en que el desarrollo del hidrógeno verde (cuya producción y consumo no genera gases de efecto invernadero) puede desempeñar un papel clave para alcanzar las metas de descarbonización. Dado que América Latina y el Caribe cuenta con algunos de los recursos de energía renovable más abundantes y competitivos del mundo, incluidas las energías hidroeléctrica, solar y eólica, un hidrógeno sostenible y renovable (verde) sin emisiones de carbono podría ser uno de los impulsores de la próxima fase de la transición de la región hacia la energía limpia.

Se deben implementar políticas que impulsen la industria del hidrógeno verde como motor de una reindustrialización sostenible, a fin de conformar un clúster industrial distribuido en toda América Latina y el Caribe, que tenga potencial exportador. Uno de los desafíos surge del hecho de que la región aún carece de tecnologías apropiadas para la producción de hidrógeno verde, específicamente máquinas de electrólisis, por lo que se hace imperativo desarrollar capacidades para desplegar una industria que pueda operar desde la región, con expertos capacitados para el control y mantenimiento de su actividad.

C. Electromovilidad

El petróleo ha sido la fuente de energía predominante para el transporte y, con ello, es la causa de cerca del 25% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (PNUMA, 2021). Por ello, la transición de este sector hacia el uso de fuentes de energía no contaminantes, en particular la energía eléctrica, se vislumbra como un aporte sustancial en el combate del cambio climático y la contaminación ambiental.

Avances tecnológicos asociados a la electrificación de los vehículos y a las baterías han sido la base de nuevos productos y procesos productivos, que, combinados con normas medioambientales cada vez más estrictas y la acción estratégica de los Gobiernos, están impulsando importantes cambios en el sector automotor. Entre 2017 y 2021, la participación de los vehículos eléctricos (automóviles de pasajeros, furgonetas, vehículos deportivos utilitarios y camionetas) en las ventas del mercado de vehículos livianos aumentó del 1,3% al 8,3%, llegando a 16,5 millones de unidades (AIE, 2022). Se estima que las ventas de estos vehículos podrían alcanzar los 20,6 millones de unidades en 2025 y representar así el 23% de las ventas de automóviles en el mundo (BNEF, 2022). En general, el fuerte crecimiento ha estado sustentado en los estrictos estándares de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y la existencia de subsidios a la adquisición y beneficios fiscales disponibles en los principales mercados.

Tanto la fabricación como la adquisición de vehículos eléctricos están fuertemente concentradas en China, Europa y los Estados Unidos. Los principales fabricantes del mundo están abasteciendo a los mercados locales de la región con importaciones. Sin embargo, las debilidades en la infraestructura de recarga de energía y el escaso conocimiento y confianza de los consumidores mantienen aún baja, aunque en rápido crecimiento, la participación de los vehículos eléctricos en el total de las ventas de automóviles. La industria automotriz instalada en América Latina comienza a integrarse, si bien lentamente, a esta transición de la producción.

En el mundo, la tendencia hacia la electrificación también ha llegado con fuerza a los vehículos pesados, principalmente los autobuses. Los autobuses eléctricos están avanzando de forma acelerada hacia la madurez tecnológica, en particular en lo referente a las baterías, lo que aumenta la autonomía y reduce los costos de fabricación. En la actualidad, circulan en el mundo cerca de 670.000 autobuses eléctricos y unos

66.000 camiones eléctricos, lo que corresponde al 4% y el 0,1% de la flota mundial de autobuses y camiones, respectivamente (AIE, 2022). Esta evolución ha estado acompañada de múltiples compromisos de gobiernos nacionales y subnacionales que apuntan a establecer metas y plazos concretos para avanzar en la transición hacia la electromovilidad en el transporte público.

El mercado de autobuses eléctricos ha estado fuertemente concentrado en China, como resultado de una ambiciosa estrategia de descontaminación ambiental de las grandes ciudades, el desarrollo de un renovado sistema de transporte público y el fortalecimiento de las capacidades tecnológicas y productivas locales. En la actualidad, cerca del 90% de los autobuses eléctricos que están en operación en el mundo circulan por ciudades de China.

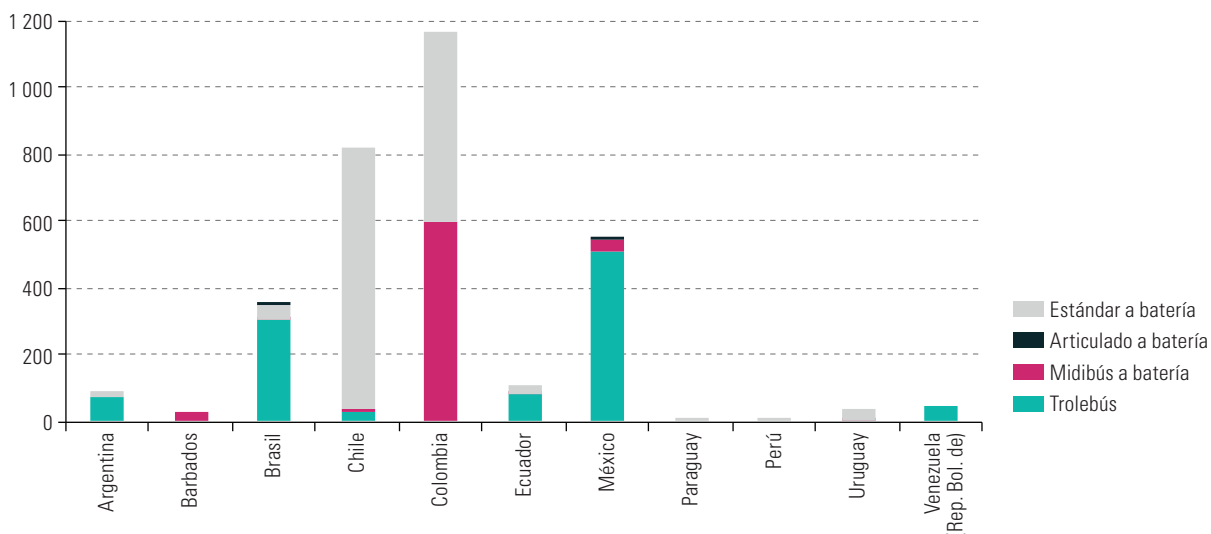
De acuerdo con diversos analistas, se estima que el mercado de autobuses eléctricos crecerá de manera muy significativa en los próximos años. Entre 2022 y 2027, las ventas anuales de autobuses eléctricos en el mundo podrían aumentar de 112.041 a 671.285 unidades (Sustainable Bus, 2022). Aunque China seguirá manteniendo el liderazgo, se esperan crecimientos importantes en Europa y especialmente en los Estados Unidos. Asimismo, progresivamente algunos países en desarrollo comenzarán a participar de manera más activa en este mercado, en particular la India y algunas economías latinoamericanas.

En América Latina, la adopción de normas y regulaciones ambientales más estrictas, con el propósito de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, ha permitido algunos avances en la electromovilidad. Algunos países han establecido metas para la electrificación de los vehículos del transporte público, como es el caso de Chile, Colombia y Costa Rica. Entre los países de la región, han predominado instrumentos que promueven la adquisición, la utilización y la circulación de autobuses eléctricos. Sin embargo, en la mayoría de las iniciativas, no se asigna prioridad a la adquisición de autobuses producidos localmente.

En abril de 2022, circulaban en América Latina y el Caribe 3.209 vehículos eléctricos para el transporte público, lo que corresponde a menos del 4% del total de la flota de autobuses presentes en las principales ciudades latinoamericanas. En la actualidad, Colombia lidera la incorporación de autobuses eléctricos, especialmente en la ciudad de Bogotá, con 1.165 unidades, seguido de Chile (819), México (556) y el Brasil (351) (véase el gráfico II.1).

Gráfico II.1

América Latina y el Caribe (11 países): autobuses eléctricos en circulación, por modelo, abril de 2022
(En unidades)



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de E-BUS RADAR, "Latinoamérica", abril de 2022 [en línea] <https://www.ebusradar.org/es/> [fecha de consulta: 23 de junio de 2022].

Los primeros pasos hacia la electrificación, en la mayoría de los casos, se están dando mediante la importación de los vehículos y gran parte de los elementos clave de la infraestructura de apoyo. Los fabricantes chinos son los principales proveedores de autobuses eléctricos en América Latina, con más del 70% de las unidades.

A pesar del incipiente aumento de la demanda de autobuses eléctricos en la región y de las favorables perspectivas para los próximos años, la oferta regional no sigue el mismo ritmo. Para romper la inercia de varios de los agentes vinculados a la incorporación de los autobuses eléctricos en América Latina, se han implementado innovadores modelos de negocio que separan la propiedad de la operación, y que incorporan subsidios y mecanismos de financiamiento, entre otros elementos. Esto ha permitido el ingreso de nuevos actores que históricamente no participaban en el sector automotor, como las empresas de energía, esenciales para el despliegue de la infraestructura de recarga.

La actual coyuntura, marcada por la necesidad de abordar los peligros asociados al cambio climático y llevar adelante la transformación del sector automotor, abre una ventana de oportunidad para desarrollar nuevas capacidades productivas en América Latina, particularmente en la fabricación de autobuses eléctricos.

Las políticas de apoyo a esta industria, en su etapa de creación y crecimiento, apuntan a elementos tanto de demanda como de oferta. El desarrollo de la industria en la región supone la creación de un mercado que asegure una demanda previsible y una escala adecuada para la producción. Con ese fin, es fundamental avanzar en la planificación de una transición gradual, progresiva y con plazos definidos hacia la electromovilidad. Por el lado de la oferta, se deben crear mecanismos, en particular de financiamiento, que apoyen las inversiones y la creación de capacidades de producción local en las empresas de la región. La construcción de una estrategia de electrificación de la producción, coordinada y consensuada entre los actores públicos y privados, es clave para atraer y movilizar la inversión.

En este contexto, y en particular en un espacio donde aún persisten incertidumbres en las trayectorias tecnológicas, sumadas a limitadas capacidades específicas a nivel regional, las políticas de ciencia, tecnología e innovación tienen un importante papel que jugar.

Se deben tener presentes, especialmente, las diferencias tecnológicas existentes entre los autobuses tradicionales y los eléctricos. Los autobuses eléctricos tienen como componente central el sistema de baterías internas, que es recargado de manera externa con un conector que se enlaza a la red eléctrica.

En un autobús eléctrico se pueden identificar siete subsistemas (De los Santos, 2022):

- i) Chasis: plataforma conformada por dos largueros y estructuras transversales que sostiene los componentes mecánicos del vehículo.
- ii) Propulsión (*powertrain*): está compuesto por aquellos elementos que permiten el desplazamiento del vehículo, incluidos el motor eléctrico, la transmisión, los ejes y las llantas. En el caso de las unidades de propulsión eléctrica, esto no incluye los módulos de baterías, que conforman otro subsistema.
- iii) Dirección y control: permite determinar la trayectoria de la unidad, mediante movimientos en el volante que accionan la barra de dirección, además de otros componentes relacionados con el proceso de conducción.
- iv) Carga eléctrica: está compuesto por los módulos de batería, las conexiones superiores para la recarga de oportunidad y el conector para la carga de energía proveniente de la red eléctrica. Dependiendo de la configuración de este subsistema, el autobús presentará distintos desempeños en cuanto a velocidad, arranque y autonomía, entre otros aspectos. La configuración de los módulos de baterías puede variar en lo referente a sus componentes químicos (ion de litio, es decir, litio y titanio (LTO), níquel-cobalto-manganeso (NMC) o litio-ferrofosfato (LFP) (Sustainable Bus, 2021)), su capacidad (generalmente entre 150 y 450 kWh (MJB & A, 2020)) y su número de baterías, entre otros aspectos.
- v) Estructuras de cuerpo y carrocería: son las partes metálicas externas que forman el esqueleto de la unidad, incluidas la estructura superior, inferior y lateral. Esta estructura va colocada sobre el chasis. Por su parte, la carrocería está constituida por los elementos que dan una configuración particular a la unidad, incluidos los costados, las puertas, las ventanas y las luces, entre otros.

- vi) Interior: este subsistema está compuesto por todos los elementos internos que conforman el espacio “habitado” del vehículo, incluidos los asientos y otros elementos de funcionalidad y confort.
- vii) Auxiliares: se refiere a aquellos subsistemas adicionales y de soporte, incluidos el sistema de climatización, la dirección asistida, el compresor de aire y el contactor auxiliar 24V, entre otros componentes que se relacionan directa o indirectamente con las condiciones del manejo de la unidad (Halmeaho y otros, 2015).

Las diferencias más significativas entre los subsistemas de un autobús de tren motriz eléctrico y uno de tren motriz convencional corresponden a los subsistemas de propulsión y de carga eléctrica (véase el cuadro II.3). Este último no existe en una unidad de motor de combustión. Además, en el caso de un autobús de tren motriz eléctrico deben realizarse ciertas adecuaciones a las tecnologías que componen el chasis y el subsistema de dirección y control. Por último, existen subsistemas que no se relacionan con el hecho de que al autobús sea eléctrico, por ejemplo, las estructuras de cuerpo y carrocería, y el interior, por lo que se mantienen equivalentes.

Cuadro II.3

Comparación entre los subsistemas de un autobús convencional y uno eléctrico

Subsistema	Características del autobús de tren motriz convencional	Características del autobús de tren motriz eléctrico	Nivel de cambio
Propulsión y carga	Motor de combustión, transmisión, tanque de gasolina y sistema postratamiento	Motor eléctrico, módulos de baterías, conexiones para carga rápida y enchufe para recarga	Alto
Componentes eléctricos	Sistemas de bajo voltaje	Sistemas de alto voltaje	Alto
Dirección y control	Hidráulica	Eléctrica	Alto
Frenos, ejes, suspensión y diferencial	Estándar	Frenos regenerativos y suspensión adaptada al nuevo peso, debido a las baterías	Alto
Chasis	Estándar	Se ajusta para acomodar el set de baterías que será instalado	Bajo
Interior	Estándar	Estándar	No cambia
Estructura y carrocería	Estándar	Estándar	Bajo
Tablero de instrumentos	Estándar (análogo y/o digital)	Se hacen cambios menores relacionados con la carga de energía.	Bajo

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Centro de Modelamiento Matemático (CMM), “Ciclo de Jornadas Virtuales. Sesión 2: Introducción a los Autobuses Eléctricos y sus Beneficios”, noviembre de 2020 [en línea] <https://movelatam.org/wp-content/uploads/2020/12/Presentacion-Sesion-2.pdf>.

Nota: La nomenclatura de los sistemas (o subsistemas) utilizada en este cuadro corresponde a la fuente, por lo que en algunos casos difiere de la empleada previamente en este documento.

En la fabricación de autobuses existen distintos modelos de negocio, asociados a la integración vertical de los procesos en una misma planta. En América Latina es usual un modelo con baja integración vertical, enfocado en la fabricación y el ensamble de la estructura del cuerpo y la carrocería, para ofrecer al mercado soluciones personalizadas que respondan a necesidades específicas del cliente, así como opciones de compra más económicas. Estas empresas integradoras entregan el producto final al cliente y además añaden otros elementos esenciales como asientos, elementos de cabina del conductor y salón de pasajeros, pintura y rotulado, entre otros componentes.

Un modelo alternativo y complementario es el reacondicionamiento (*retrofit*) de vehículos convencionales mediante el cambio del motor de combustión interna por un tren motriz eléctrico. Cuando se trata de transformar unidades convencionales, por lo general estas ya se encuentran en operación y lo que se busca es reconvertirlas mientras su vida útil restante pueda justificar dicha inversión. En América Latina, el reacondicionamiento tiene larga historia, pero ha estado acotado a proyectos académicos, iniciativas piloto empresariales y talleres mecánicos de pequeña escala. En los últimos años, sus menores costos frente a la adquisición de vehículos eléctricos han significado que el reacondicionamiento vaya ganando relevancia. No obstante, la falta de regulación constituye una de las principales barreras para la masificación de este tipo de opciones tecnológicas¹².

¹² Frente a este problema, la CEPAL ha propuesto un marco regulatorio para acelerar la inversión en electromovilidad mediante la reconversión de vehículos que utilizan combustibles fósiles (CEPAL, 2021b).

El desarrollo y la expansión de las tecnologías clave de los vehículos eléctricos precisan de la cooperación y la coordinación público-privada que permita explorar soluciones innovadoras para reducir los costos. Por ejemplo, la creación de laboratorios de I+D industrial permitiría vincular a universidades, Gobiernos y empresas en torno a la realización de proyectos de investigación dedicados a las tecnologías de motorización y baterías. Además, es importante definir áreas y temas estratégicos que orienten el fomento de la I+D mediante distintos instrumentos. La creación de programas específicos de apoyo a la I+D en áreas estratégicas para el desarrollo de la cadena productiva podría ayudar a desarrollar capacidades locales y contribuir al reposicionamiento de la industria.

El avance hacia la producción de autobuses eléctricos, como reto con dimensiones tecnológicas, económicas, medioambientales y sociales, debe ir acompañado de un conjunto amplio de medidas complementarias. Por un lado, es necesario promover el desarrollo de energías renovables y procesos productivos sostenibles, lo que incluiría la creación de mecanismos de disposición de las baterías al término de su vida útil, en sintonía con los principios de la economía circular. Asimismo, se debe avanzar en materia de infraestructura de recarga que permita la operación eficiente de los nuevos autobuses urbanos. La creación de nuevos modelos de negocio que movilicen inversiones de la escala necesaria para atender los requerimientos de los sistemas de transporte de las distintas ciudades de la región es fundamental. Asimismo, hay que asegurar la formación continua de mano de obra cualificada que permita la operación y la mantención de los autobuses eléctricos en los diferentes contextos de las ciudades latinoamericanas.

D. Ecoinnovación y producción sostenible

En América Latina y el Caribe, la transición hacia sistemas de producción más sostenibles es compleja. Por una parte, la región enfrenta el desafío de acelerar el crecimiento y reducir las brechas de productividad e ingresos con el mundo desarrollado, mientras mejora la calidad de vida de sus ciudadanos, asegurando el acceso a bienes y servicios básicos. Por otra parte, la estructura productiva basada en ventajas comparativas estáticas inclina las actividades económicas hacia la explotación de recursos naturales y sectores intensivos en energía (en especial, energías fósiles), agua y materiales. A estos retos se suma una alta heterogeneidad empresarial. Hay un gran número de empresas de menor tamaño y baja productividad que enfrentan dificultades de acceso a tecnología y financiamiento para responder a regulaciones ambientales más estrictas, promover cambios en los procesos de producción y comercialización e invertir en equipos y tecnología.

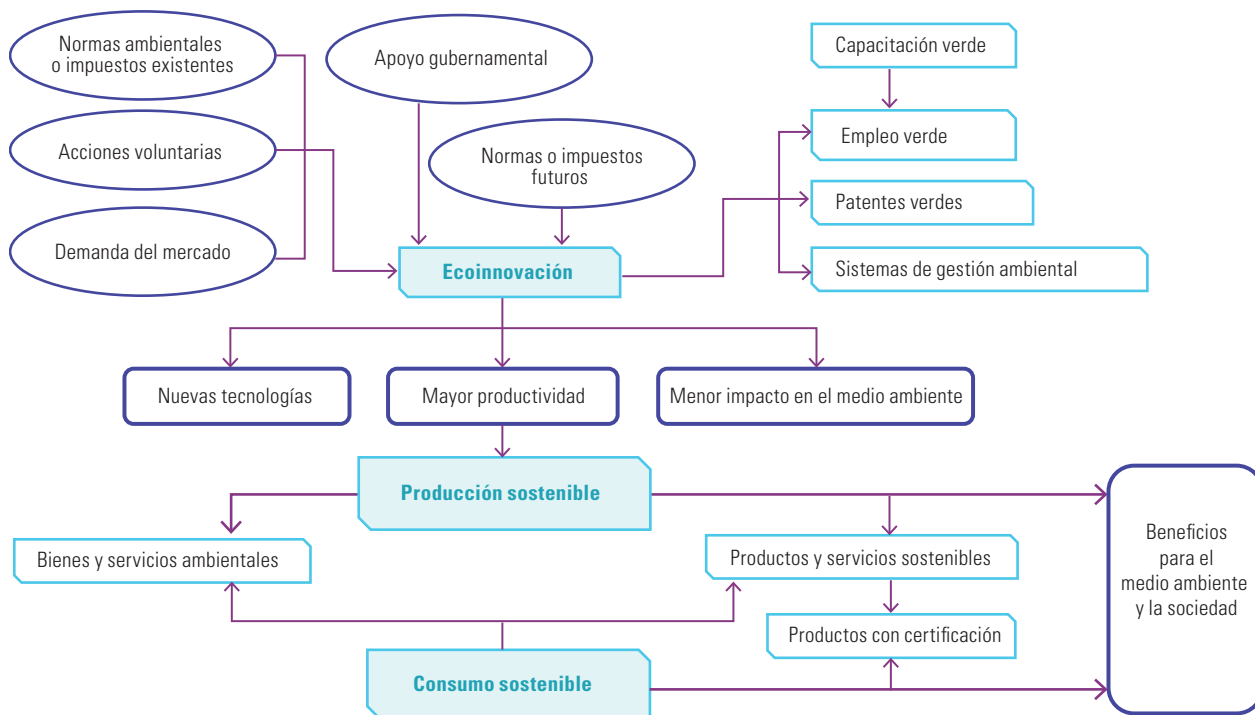
Desde el mundo empresarial, el discurso ambiental también se ha sumado a las estrategias de innovación. En este caso, se promueven nuevas formas de hacer negocios y se insiste en la necesidad de mejorar la productividad de los recursos. Por su parte, la creciente demanda relacionada con el cumplimiento de las regulaciones ambientales (cada vez más estrictas) y la importancia de reducir los costos también han impulsado los esfuerzos encaminados a aumentar la eficiencia energética, reducir el volumen de residuos, promover el reciclaje y optimizar los embalajes.

La ecoinnovación es la búsqueda de modelos productivos más sostenibles. Este término se vincula con la capacidad empresarial de mejorar la eficiencia en el uso de recursos naturales y reducir la contaminación mediante la incorporación de nuevos procesos, productos y prácticas organizacionales y comerciales que sean más respetuosos con el medio ambiente.

Existen varios factores que influyen en la ecoinnovación, en los ámbitos de impacto previsto (productividad, innovación, menor impacto medioambiental) y en su relación con otros conceptos, como la producción y el consumo sostenible (véase el diagrama II.3). La introducción de nuevas tecnologías puede favorecer el desarrollo de nuevas actividades de producción de bienes y servicios ambientales y el incremento del empleo vinculado a estas actividades, conocido como empleo verde. Con este fin, es necesario contar con políticas industriales, tecnológicas, de innovación y de capacitación que contribuyan a avanzar hacia modelos de consumo y producción sostenibles en la región.

Diagrama II.3

Determinantes de la ecoinnovación y su relación con la producción y el consumo sostenibles



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

América Latina y el Caribe presenta un magro desempeño en materia de inversión en investigación y desarrollo (I+D), sobre todo en comparación con la dinámica observada en otras regiones más avanzadas o emergentes. Si se analizan los esfuerzos públicos dirigidos a la I+D con objetivos medioambientales, se observa una heterogeneidad elevada en los países de la región. En algunos casos, como Costa Rica y México, se destinan valores proporcionales iguales o superiores a los de países más avanzados, como España o los Estados Unidos. Los países de la región sobre los que se dispone de información indican que gastan, en promedio, el 5,22% de su presupuesto en I+D en materia de control y cuidado del medio ambiente. No obstante, si se toma en cuenta el gasto total en I+D por objetivo medioambiental en relación con el PIB, se puede determinar que los países más avanzados destinan una proporción mayor del PIB al gasto en I+D ambiental (véase el cuadro II.4).

Al revisar el comportamiento de las patentes a nivel mundial, se puede observar que hay un gran esfuerzo dirigido hacia el cuidado del medio ambiente (energías renovables, vehículos eléctricos e híbridos, eficiencia energética en edificios, tratamiento de aguas y residuos, entre otras), que se concentra en los países más avanzados, como los Estados Unidos, el Japón y los países de Europa. Por ejemplo, entre 2010 y 2018, en promedio, los Estados Unidos registraron 50 veces más patentes en materias ambientales per cápita que América Latina y el Caribe en su conjunto. Sin embargo, la región logró duplicar la cantidad de patentes en esta área entre los períodos 2000-2009 y 2010-2018. Por otra parte, el peso de las patentes en materias ambientales en el total de patentes en América Latina y el Caribe es similar al promedio mundial, se ubica solo un punto por debajo de la OCDE y es superior a los Estados Unidos y China (véase el cuadro II.5).

Entre 2000 y 2020, la cantidad de certificaciones ISO 14001 (sistemas de gestión ambiental) en el mundo aumentó a un 16% anual y llegó a 348.473 certificaciones en el año, concentradas en Asia y el Pacífico (60%) y Europa (30%). Para 2020, la cantidad de certificaciones por cada millón de habitantes en estas dos regiones fue de 89 y 123, respectivamente. Durante el mismo período, la cantidad de certificaciones por año en América Latina y el Caribe aumentó a un 18% anual y llegó a 11.878 certificaciones en el año (un 3% del total), con 18 certificaciones por cada millón de habitantes.

Cuadro II.4

América Latina y el Caribe (8 países), España y Estados Unidos: gasto público en investigación y desarrollo (I+D) con objetivos medioambientales^a, último año con información disponible
(En porcentajes del gasto total en I+D y porcentajes del PIB)

País	(En porcentajes del gasto total en I+D)	(En porcentajes del PIB)
Argentina	5,39	0,030
Chile	0,59	0,002
Costa Rica	9,62	0,044
El Salvador	1,65	0,002
Guatemala	0,01	0,000003
México	9,18	0,036
Paraguay	1,07	0,001
Trinidad y Tabago	14,29	0,013
España	5,44	0,068
Estados Unidos	7,30	0,123

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de información de la Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT) y Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), OECD.Stat [base de datos en línea] <https://stats.oecd.org/>.

Nota: La información de la Argentina, Costa Rica, El Salvador, México y Trinidad y Tabago corresponde a 2016; la de Chile corresponde a 2017; la de España, Guatemala y el Paraguay corresponde a 2019, y la de los Estados Unidos corresponde a 2018. En España, los gastos desagregados por objetivo socioeconómico no incluyen al sector empresarial. A partir de 2004, la serie ha sido revisada por el Ministerio de Ciencia e Innovación, mediante la nueva clasificación de la Nomenclatura para el análisis y comparación de programas y presupuestos científicos (NABS) 2007. En los Estados Unidos, a partir de 2006 se produce un cambio en la clasificación por objetivos socioeconómicos. En El Salvador, los datos consignados como gasto en ciencia y tecnología corresponden al gasto realizado por los sectores de educación superior y gobierno. En Guatemala, la información consignada corresponde al gasto de los sectores de gobierno y educación superior. En México, la información consignada como gasto en actividades de ciencia y tecnología se refiere únicamente al gasto federal en ciencia y tecnología.

^a Se refiere a control y cuidado del medio ambiente.

Cuadro II.5

Patentes totales y en materias ambientales por cada millón de habitantes, 2000-2009 y 2010-2018
(En unidades)

Región o país	Promedio 2000-2009			Promedio 2010-2018		
	Totales	En materias ambientales	Patentes en materias ambientales respecto del total (En porcentajes)	Totales	En materias ambientales	Patentes en materias ambientales respecto del total (En porcentajes)
Mundo	89,2	7,0	7,8	91,9	9,9	10,7
Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE)	388,9	31,3	8,0	430,8	48,9	11,4
Estados Unidos	520,7	33,8	6,5	541,4	48,5	9,0
República de Corea	1 821,8	148,7	8,2	2 401,2	303,5	12,6
Japón	624,0	59,0	9,5	706,9	90,5	12,8
Alemania	637,3	66,0	10,4	677,7	96,6	14,3
China	46,2	3,6	7,7	35,4	2,9	8,2
América Latina y el Caribe	4,3	0,4	9,6	10,5	1,1	10,7

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Oficina Europea de Patentes (OEP), Worldwide Statistical Patent Database (PATSTAT) [en línea] <https://www.epo.org/searching-for-patents/business/patstat.html>.

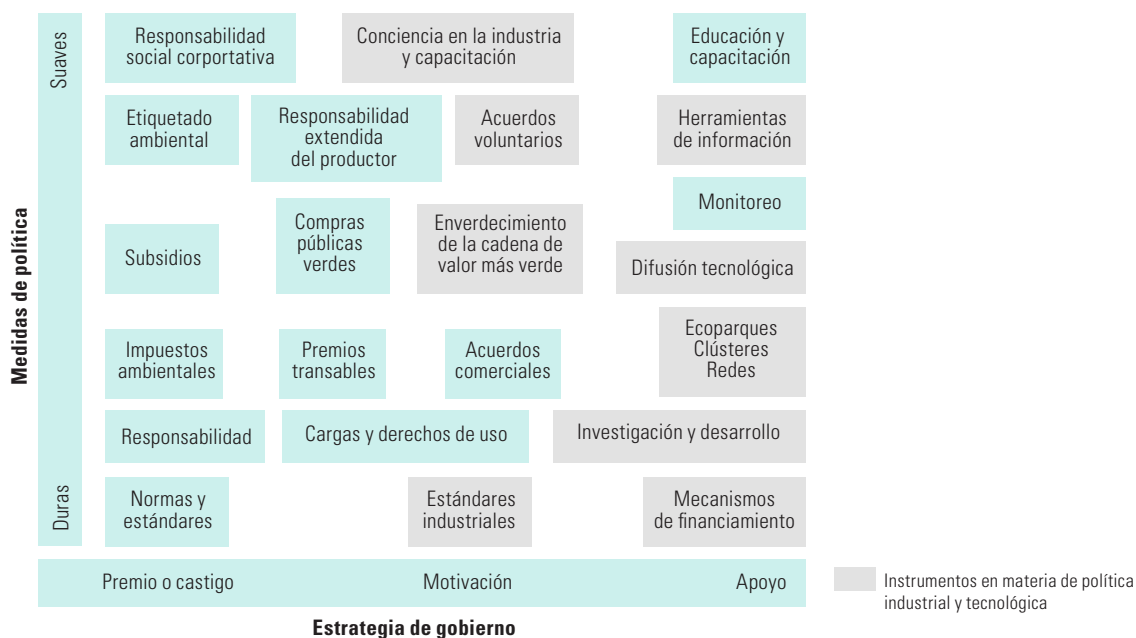
Una de las grandes barreras para conocer más sobre los procesos de ecoinnovación en la región es la falta de datos y estadísticas que den cuenta de la adopción de prácticas ambientales en las empresas. A pesar de esta situación, existen algunas iniciativas puntuales encaminadas a impulsar la recolección de datos sobre esta temática. Una de ellas ha sido la incorporación de preguntas específicas en materia de ecoinnovación en la Encuesta de Innovación (PINTEC) del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE).

Existen diferentes elementos que impulsan un cambio en los patrones de producción y consumo hacia modelos más sostenibles. La creciente conciencia ambiental motiva a las empresas a contar con estrategias de reducción del impacto ambiental, sobre todo en respuesta a la demanda de los consumidores de los países más desarrollados de productos y servicios que incorporen elementos de responsabilidad ambiental. Por otra parte, las comunidades locales también ejercen presión para que se respeten los ecosistemas naturales donde algunas empresas operan. Estas tendencias, sumadas a regulaciones y normas ambientales más estrictas, están impulsando diversas estrategias a nivel empresarial e industrial.

Los Gobiernos pueden promover un conjunto amplio de medidas para impulsar la producción sostenible. Dentro de esta combinación de políticas se encuentran e interactúan las políticas de ciencia, tecnología e innovación. En el diagrama II.4 se caracterizan los distintos instrumentos de política que pueden constituir una estrategia de producción sostenible. Las intervenciones pueden ser obligatorias o voluntarias. En el extremo superior izquierdo se encuentran las medidas más vinculadas a los incentivos que a las penalizaciones. En el extremo inferior izquierdo se incluyen las que son obligatorias y están relacionadas con los impuestos ambientales y las normas y estándares. Los instrumentos que se vinculan con políticas tecnológicas y de innovación se encuentran entre los instrumentos de apoyo que son de carácter voluntario, como la capacitación, la difusión tecnológica, el acceso a financiamiento, la definición de estándares y las herramientas de información.

Diagrama II.4

Matriz de políticas para la producción sostenible



Fuente: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), *UNIDO Green Industry: Policies for Supporting Green Industry*, Viena, 2011.

Si bien el cumplimiento de los objetivos de la producción sostenible exige un enfoque integrado en la formulación de políticas, en muchos casos el tema ambiental es competencia de una sola institución. Esto es lo que sucede en la mayoría de los países donde existe una unidad específica encargada del tema, ya sea a nivel ministerial, dentro de algún ministerio o en el marco de un servicio público relacionado con el medio ambiente. En algunos países, además de haber una dependencia gubernamental encargada del tema, se ha promovido el establecimiento de comités o comisiones con representantes de distintos sectores del Gobierno como responsables de la elaboración y el desarrollo de las políticas públicas sobre consumo y producción sostenible a nivel nacional. Para poder responder a estas demandas y avanzar hacia un modelo de crecimiento más verde, es necesario definir un marco integrado y transversal de acción, además del trabajo conjunto y el diálogo entre el Gobierno, el sector privado y la sociedad civil (Rovira, Patiño y Schaper, 2017).

Desde la intervención pública en materia de ciencia, tecnología e innovación, los instrumentos operativos han ido evolucionando hasta encontrar fondos tecnológicos, fondos sectoriales, estímulos al capital de riesgo, iniciativas de cooperación entre universidades y empresas, compras públicas sostenibles y redes. Sin lugar a duda, la dimensión ambiental también añade a estas iniciativas un nuevo factor de complejidad. Para enfrentar el reto que supone la producción sostenible es necesario aplicar, con continuidad y coherencia, políticas tecnológicas e industriales que motiven la coordinación de instituciones en diversas áreas económicas, productivas y medioambientales. Además, es preciso contar con agendas que fijen objetivos y metas concretas a corto, mediano y largo plazo en torno a las prácticas ambientales de las empresas.

Bibliografía

- AIE (Agencia Internacional de Energía) (2022), *Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future* [en línea] <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>.
- _____(2020), *World Energy Outlook 2020* [en línea] <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.
- BNEF (BloombergNEF) (2022), *Electric Vehicle Outlook 2022* [en línea] <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2021a), *Lineamientos y propuestas para un plan de autosuficiencia sanitaria para América Latina y el Caribe* (LC/TS.2021/115), Santiago.
- _____(2021b), "Propuesta de marco regulatorio para acelerar la inversión en electromovilidad mediante la reconversión de vehículos que usan combustibles fósiles"; *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2021/129), Santiago.
- _____(2020), *Construir un nuevo futuro: una recuperación transformadora con igualdad y sostenibilidad* (LC/SES.38/3-P/Rev.1), Santiago.
- De los Santos, S. (2022), "Modelo de evaluación para la fabricación de autobuses eléctricos en México y otros países de América Latina"; *Documentos de Proyectos*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en prensa.
- Gereffi, G., S. Frederick y P. Bamber (2019), "Diverse paths of upgrading in high-tech manufacturing: Costa Rica in the electronics and medical devices global value chains"; *Transnational Corporations*, vol. 26, N° 1.
- Halmeaho, T. y otros (2015), "Advanced driver aid system for energy efficient electric bus operation"; *Proceedings of the 1st International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS-2015)*, M. Helfert y O. Gusikhin (eds.), SCITEPRESS.
- Hund, K. y otros (2020), *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*, Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Jiménez, D. y M. Sáez (2022), "Agregación de valor en la producción de compuestos de litio en la región del triángulo del litio"; *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2022/87), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Leañez, F. (2022), "Intensidad de materiales en la transición energética de América Latina: estimaciones sobre la base de un escenario de integración energética de América del Sur"; *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2022/46), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- MJB & A (M. J. Bradley & Associates LLC) (2020), *Battery Electric Bus and Facilities Analysis: Final Report*, enero [en línea] https://www.mjbradley.com/sites/default/files/MTSElectricBusFinalReportFINAL15jan20_0.pdf.
- OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos) (2018), *Pharmaceutical Innovation and Access to Medicines*, OECD Health Policy Studies, París, OECD Publishing.
- OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) (2021), *Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2021*, Quito [en línea] <https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2021/>.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud) (2020), *Modelos de sistemas regulatorios para estados y mercados pequeños con recursos limitados: nota conceptual y recomendaciones*, IX Conferencia de la Red Panamericana para la Armonización de la Reglamentación Farmacéutica (Red PARF), San Salvador, 24-26 de octubre de 2018, Washington, D.C.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2021), *Movilidad eléctrica: avances en América Latina y el Caribe*, Panamá.
- Rovira, S., J. Patiño y M. Schaper (comps.) (2017), "Ecoinnovación y producción verde: una revisión sobre las políticas de América Latina y el Caribe"; *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2017/3), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Schlender, M. y otros (2021), "How much does it cost to research and develop a new drug? A systematic review and assessment"; *PharmacoEconomics*, vol. 39, N° 11, noviembre.
- Sustainable Bus (2022), "Global electric bus market to reach 670k units in 2027 (from 112k in 2022), according to study"; 8 de marzo [en línea] <https://www.sustainable-bus.com/news/global-electric-bus-market-forecast-2027/>.
- _____(2021), "Lithium-ion battery technology in e-buses, according to BMZ Poland"; 15 de abril [en línea] <https://www.sustainable-bus.com/news/bmz-poland-lithium-ion-battery-technology-electric-buses/>.

Las políticas de ciencia, tecnología e innovación deben jugar un papel central, no solo en la construcción de capacidades nacionales en materia de investigación y desarrollo, sino también en la solución de problemas y desafíos nacionales en el marco de las políticas de desarrollo de los países.

En un escenario de debilidad estructural, escasos recursos y necesidades de escala para lograr resultados, surge la necesidad de orientar los recursos destinados a apoyar la ciencia, la tecnología y la innovación, o al menos una parte de ellos, hacia áreas del conocimiento relacionadas con los principales retos que enfrentan los países.

La ciencia, la tecnología y la innovación deben aportar al desarrollo de sectores y actividades dinamizadoras de la economía y la sociedad. En este documento se analizan cuatro de ellos: la industria manufacturera de la salud, la transición energética, la electromovilidad, y la ecoinnovación y producción sostenible.