



# La integración productiva latinoamericana mediante proyectos regionales en ciencia, tecnología e innovación

Ione Egler, Wilson Peres y Sebastián Rovira  
(Compiladores)



# La integración productiva latinoamericana mediante proyectos regionales en ciencia, tecnología e innovación

Ione Egler, Wilson Peres y Sebastián Rovira  
(Compiladores)



Este documento fue preparado por Wilson Peres y Sebastián Rovira, funcionarios de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y Ione Egler, del Centro de Gestión y Estudios Estratégicos (CGEE). Los estudios que han permitido la elaboración del libro estuvieron a cargo de investigadores y consultores de diversas instituciones nacionales.

La publicación de este documento se realizó en el marco del proyecto "Integración latinoamericana: asociación estratégica en ciencia, tecnología e innovación", ejecutado por el CGEE, y del proyecto: "Innovación en el contexto del cambio climático: fomento a las pymes", ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de las organizaciones.

## Índice

Introducción .....	5
I. Telemedicina	
<i>Fernando Silveira</i> .....	7
A. Introducción .....	7
B. Definiciones .....	8
C. Estado del arte, buenas prácticas .....	9
1. La experiencia internacional.....	9
2. América Latina y el Caribe .....	11
D. Perfil de proyecto .....	12
1. Objetivos.....	13
2. Necesidad social y oportunidad tecnológica .....	13
3. Resultados esperados.....	14
4. Impactos esperados .....	15
5. Actividades y plazo.....	16
6. Núcleo inicial potencial de participantes .....	16
Bibliografía .....	16
II. Tecnología asistida	
<i>Fabiana Fator Gouvêa Bonilha, Sara Agueda Fuenzalida Squella,</i> <i>Rodrigo Cubillos Bravo y José Guadalupe Guillermo Martínez Ventura</i> .....	19
A. Contexto y justificación .....	19
B. Impactos sociales.....	22
C. Objetivos y actividades .....	23
D. Marco institucional.....	25
E. Preevaluación cualitativa y factibilidad .....	25
1. Fortalezas.....	25
2. Debilidades.....	25
III. Manufactura aditiva	
<i>Gustavo A. Abraham, Pedro Yoshito Noritomi, Ciro A. Rodríguez y Marcos Sabino</i> .....	27
A. Contexto y justificación .....	27
B. Participantes y actividades centrales .....	29
C. Resultados .....	31
D. Marco institucional.....	31
E. Prevalidación.....	32

IV. Cadena inversa de aparatos eléctricos y electrónicos	
<i>Manuel Lousada, Teresa Silva Moreno, Victoria Rudín, Carlos A. Hernández, Oscar Espinoza Loayza y José Rocha</i>	35
A. Objetivos	35
B. Contexto y justificación	36
C. Impactos y desarrollo futuro	37
D. Países y entidades participantes	38
E. Resultados, actividades y acciones tecnológicas prioritarias	39
F. Cronograma	43
V. Energías eólica y solar fotovoltaica en generación distribuida	
<i>Gonzalo Bravo, Nicola Borregaard, Jorge M. Huacuz y Marianne Schaper</i>	45
A. Objetivos	45
B. Tecnologías	46
1. La tecnología solar fotovoltaica	46
2. La tecnología eólica	47
3. La generación distribuida	47
C. Contexto	48
1. Tendencias mundiales	48
2. La estrategia de China	49
3. Tendencias en la región	50
4. Dinámica de los costos	54
D. Justificación	56
E. Selección de países	56
F. Resultados y actividades	56
G. Riesgos y medidas de mitigación	58
Bibliografía	59

#### Cuadros

Cuadro II.1	Personas con discapacidad en países de América Latina y el Caribe	20
Cuadro II.2	Matriz lógica	23
Cuadro III.1	Actividades centrales para alcanzar los resultados del proyecto	29
Cuadro III.2	Resultados del proyecto	31
Cuadro III.3	Matriz lógica del perfil de proyecto	33
Cuadro IV.1	Matriz lógica	39
Cuadro IV.2	Cronograma de ejecución del proyecto	43
Cuadro V.1	Características y costos de la generación eléctrica mediante tecnologías que usan energías renovables no convencionales	55
Cuadro V.2	Riesgos y medidas de mitigación	58

#### Diagramas

Diagrama I.1	Ubicación de la propuesta en la cadena de innovación	8
Diagrama I.2	Esquema del sistema propuesto	15
Diagrama IV.1	Variables que intervienen en la solución del problema	37
Diagrama IV.2	Modelo de gestión	38

## Introducción

La integración productiva en América Latina y el Caribe tiene diferentes dimensiones que van desde inversiones en múltiples países por parte de empresas transnacionales, en particular translatinas, hasta esfuerzos de complementación productiva impulsados por entidades estatales o empresariales en el marco de acuerdos bilaterales o multilaterales más o menos amplios. En un contexto de acelerado cambio técnico, como el que caracteriza a la economía mundial, la complementación e integración en materia tecnológica es un área fundamental para avanzar en la integración productiva y la diversificación.

La ciencia, la tecnología y la innovación (CTI) han cobrando creciente relevancia en los últimos años y se han transformado en un determinante fundamental de las posibilidades para crecer y competir en el mercado mundial. Esto ha quedado plasmado en muchas de las agendas de desarrollo de los gobiernos de economías tanto avanzadas como emergentes, tendencia de la que también han sido parte los países de la región. La innovación y el desarrollo científico y tecnológico es un fenómeno altamente complejo, caracterizado por procesos de prueba y error, gran incertidumbre, importantes externalidades y una dinámica de aprendizaje que lo hacen único. Explorar nuevos ámbitos de acción que faciliten y promuevan actividades en este ámbito es un factor fundamental para que las economías logren aumentar su competitividad y productividad, así como la de todos los sectores que la componen.

Ahora bien, las actividades de CTI no solamente permiten ganar nuevos espacios en el terreno de la competitividad y el aumento de la productividad de las economías. El surgimiento de los nuevos paradigmas tecnológicos, como los de las tecnologías de la información y de las comunicaciones, las nanotecnologías, los nuevos materiales y las biotecnologías, permiten generar e incorporar innovaciones y tecnologías en los ámbitos sociales y medioambientales, transformándose en fuentes de inclusión social y sostenibilidad.

La nueva economía del conocimiento abre nuevas e importantes áreas para la transformación productiva de los países latinoamericanos y plantea grandes desafíos. En tal sentido, este texto aboga para la formulación y puesta en práctica de estrategias nacionales de innovación que contemplen la implementación de proyectos de alcance regional para incrementar el esfuerzo y los resultados en materia de innovación y aprendizaje tecnológico en los países de la región.

En América Latina y el Caribe, existen diversas iniciativas de cooperación en CTI, entre las que destacan el Programa Sudamericano de Apoyo a las Actividades de Cooperación en Ciencia y Tecnología (PROSUL), la Red Latinoamericana de Repositorios, el Centro Argentino-Brasileño de Biotecnología (CABBIO) y la Plataforma de Biotecnologías BIOTECSUR. Pese a su importancia,

estos proyectos son de reducido alcance y se basan fundamentalmente en el sector académico. El fortalecimiento de las actividades de cooperación en CTI en la región depende de la realización de proyectos de amplio alcance en áreas estratégicas y de alta prioridad para el desarrollo, en los que participen empresas, universidades e institutos de investigación, organizaciones no gubernamentales y entidades del sector público.

Los perfiles de proyectos que se presentan en este documento implican acciones de cooperación bilateral o multilateral y son relevantes para la generación, desarrollo y consolidación de capacidades científicas y tecnológicas y de procesos de innovación productiva y articulación institucional. Su objetivo es identificar áreas de interés para la cooperación en CTI en América Latina, las que pueden, a su vez generar, importantes sinergias con otros espacios regionales de cooperación que están en proceso de constitución o consolidación o ser retomadas por estos proyectos para fortalecer el desarrollo científico y tecnológico. Estos perfiles identifican elementos fundamentales a ser profundizados por proyectos de alcance regional, desarrollados a partir de la expresión de voluntades y compromisos asumidos por los países presentes en la Reunión de Ministros de América Latina y el Caribe realizada en Río de Janeiro del 16 al 18 de junio de 2013.

# I. Telemedicina

*Fernando Silveira<sup>1</sup>*

## A. Introducción

Esta iniciativa busca contribuir a una agenda regional de cooperación en desarrollo tecnológico en el área de telemedicina en América Latina y el Caribe mediante un análisis del estado de situación y la propuesta de un perfil de proyecto, que trata de conjugar las siguientes orientaciones.

La propuesta deberá generar una instancia de desarrollo tecnológico regional, entendido como la creación de tecnologías en la región que den origen a nuevos productos o servicios, que serán, una vez concluido el proyecto, ofrecidos al mercado y la sociedad por empresas de la región (ya existentes o que se creen a partir del proyecto) y sean adoptados y utilizados por los usuarios.

El alcanzar este objetivo en plazos razonables implica tener en cuenta tres aspectos. En primer lugar, la tema a ser considerado debe estar en el buen momento tecnológico, en el sentido de que, por una parte, no requiera un esfuerzo de investigación básica previo para poner a punto la tecnología que involucre plazos y riesgos muy altos y, por otra, que exista una oportunidad justificada de desarrollo tecnológico en la región al tratarse de una solución tecnológica o aplicación no resuelta internacionalmente, en cuyo caso bastaría implantar una solución ya existente. Si no se diera esta última condición podría darse que el desarrollo en la región se justificara por la necesidad de adaptar la tecnología disponible a la realidad, necesidades y modo de trabajo del sistema de salud de sus países. Pero este escenario deja un menor espacio para que la iniciativa actúe como motor del desarrollo tecnológico regional cooperativo.

En segundo lugar, para maximizar la adopción de las soluciones tecnológicas es clave que se desarrollen con quienes la van aplicar; por ello se debe contar, desde un principio, con la participación

---

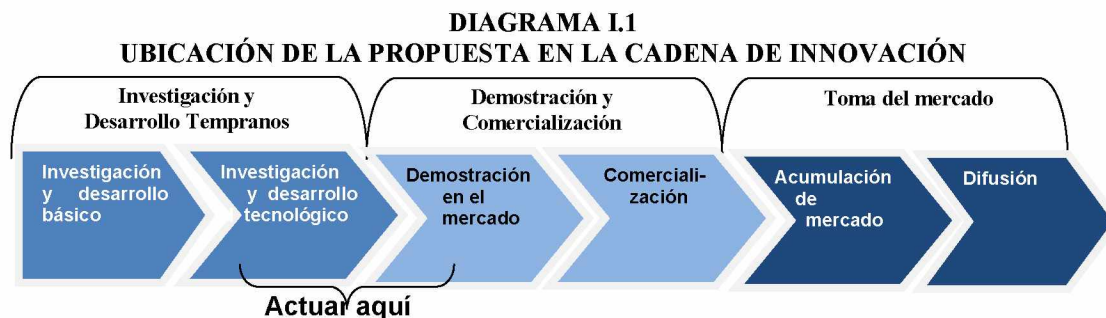
<sup>1</sup> Fernando Silveira es profesor de la Universidad de la República, Uruguay. Agradece a Stella Bonino y Pablo Aguirre por la búsqueda y análisis bibliográficos y posterior discusión, así como a las personas que actuaron como contactos con las empresas e instituciones potencialmente participantes en el proyecto (Beatriz Alkmim, Pedro Arzuaga, Luis Carniglia, Luigi Carro, Germán Hirigoyen, Antonio Salazar y Gonzalo Sotero).



de actores del sistema de salud, en particular con aquellos capaces llevar a la práctica y difundir soluciones de telemedicina.

Finalmente, para contribuir a una exitosa transferencia y puesta en el mercado de las soluciones desarrolladas, es muy necesario contar, en la ejecución del proyecto, con empresas que puedan colocar los productos en el mercado o, al menos, aportar sobre aspectos a considerar en el diseño de las soluciones.

En la región existen experiencias exitosas y actores (académicos, empresariales y del sistema de salud) con capacidad, experiencia e interés para llevar adelante exitosamente una propuesta con las características deseadas. Esta apuntará a lograr un desarrollo tecnológico que aporte una solución en telemedicina, llegando hasta su validación en pruebas clínicas piloto. A fin de ubicar el objetivo y alcance de la propuesta a desarrollar, en el diagrama I.1 se muestra la cadena de innovación que va desde la investigación básica, pasando por la investigación y el desarrollo tecnológico, la demostración en el mercado y la comercialización, llegando a la difusión generalizada del producto en el mercado. En este marco, esta propuesta se enfoca en el segmento que comprende el desarrollo tecnológico y la demostración en el mercado, mediante pruebas clínica piloto. Esto sin desmedro de que la implementación de la propuesta motivará actividades de investigación en TIC y medicina, aunque este no es el foco del perfil de proyecto.



Fuente: Elaboración propia, en base a Garnaut (2008).

Una segunda orientación que guió la definición de la propuesta fue priorizar líneas de trabajo con fuerte impacto social y contribución a la inclusión de sectores sociales desfavorecidos. Si bien todas las acciones que contribuyen a un mejor ejercicio de la medicina tienen impacto social, este puede ser más o menos directo, significativo en menor o mayor plazo y contribuir o no a la inclusión. En este sentido, se priorizaron las acciones que apoyen la atención primaria de la salud, particularmente en zonas alejadas de grandes centros médicos de referencia o en zonas aisladas, las acciones con impacto en una mayor parte de la población o que aporten a las áreas en que la medicina puede contribuir a los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas de reducir la mortalidad infantil de los niños menores de 5 años (MDG4), mejorar la salud materna (MDG5) y combatir el HIV/SIDA, la malaria y otras enfermedades (MDG6).

## B. Definiciones

Telemedicina es un término que se utiliza con un alcance muy amplio y variable, por lo que es necesario explicitar la definición que se usa en el este proyecto. En varios casos, se indica el nombre en español y en inglés, pues en ciertos de los casos este último es el utilizado habitualmente. De lo general a lo particular, se tienen los siguientes conceptos.

Salud electrónica (*eHealth*). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, es el uso de las TIC en el dominio de la salud. Incluye el tratamiento de pacientes, la investigación, la educación de los recursos humanos que trabajan en salud, el seguimiento de enfermedades y el monitoreo de la salud pública.

Telemedicina. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, es “la prestación de servicios de atención de salud, donde la distancia es un factor crítico, por todos los profesionales de la salud que utilizan TIC para el intercambio de información válida para el diagnóstico, tratamiento y prevención de las enfermedades y lesiones, la investigación y la evaluación, y la formación continua de profesionales de la salud, todo en aras de la promoción de la salud de los individuos y sus comunidades”. En algunos casos, se distingue el término telemedicina del término telesalud, estando el primero restringido a servicios prestados por médicos mientras que el segundo se refiere a servicios de profesionales de la salud en general, incluyendo enfermeras y farmacéuticos. La OMS muchas veces los usa como sinónimos al igual que se hace en este documento.

Salud móvil (*mHealth*). Es la aplicación de las tecnologías de computación y dispositivos móviles y comunicaciones y redes inalámbricas a los servicios de salud (basada en Pawar y otros, 2012). En particular dentro del área de la telemedicina interesan las aplicaciones de monitoreo remoto de pacientes.

Monitoreo remoto o telemonitoreo. Apunta al uso de tecnologías de telecomunicaciones y procesamiento electrónico de información para monitorear el estado de salud de un paciente a distancia, por ejemplo mediante la medición frecuente de un proceso fisiológico, con base en la medición de variables como la presión arterial.

Monitoreo móvil de paciente (*mobile patient monitoring*). Se refiere al monitoreo remoto que se realiza con base en tecnologías móviles de *mHealth*.

## C. Estado del arte, buenas prácticas

La definición de esta propuesta partió de una revisión de experiencias relevantes en la región y el mundo cuyos resultados se presentan en esta sección. Entre esas experiencias, se enfatizarán las que tienen un historial de aplicación y adopción exitosas o que pueden ser extendidas a la propuesta de proyecto (Kopeck y otros, 2006; Gonzalez y otros, 2013).

### 1. La experiencia internacional

#### Reino Unido. Experiencia en telemedicina a gran escala, Programa *Whole System Demonstrator*

El programa *Whole System Demonstrator* (WSD) fue ejecutado entre 2008 y 2010 y financiado por el Departamento de Salud del Reino Unido para averiguar cómo la tecnología podía ayudar a las personas a controlar su propia salud y su independencia, a la vez que se evaluaba la efectividad de tecnologías como la telemedicina o los telecuidados como fundamento de decisiones que involucran grandes inversiones (Steventon y otros, 2012; Sanders y otros, 2012; Cruickshank y otros, 2013). Este programa aún se considera una de las pruebas de control *randomizadas* más grandes en el tema que se hayan ejecutado en el mundo. El programa involucró a 6191 pacientes y 238 médicos en tres localidades en Cornwall, Kent y Newham.

Su objetivo principal fue contestar la pregunta: ¿Puede hacer una diferencia el uso de tecnologías para intervenir a distancia? En particular, investigó qué podían lograr las tecnologías de telecuidado (*Telecare*) y telesalud (*Telehealth*), considerando las siguientes definiciones:

- Telecuidados (*Telecare*). Sensores personales y en el ambiente hogareño que permitan a las personas permanecer a salvo y vivir de manera independiente. El monitoreo de los

sensores durante las 24 horas asegura que, ante la ocurrencia de un evento, se actúe de manera inmediata y se ponga en acción la respuesta más apropiada. Esta tecnología se orienta a personas en una situación vulnerable que requieren los cuidados de personal de salud o asistencia social para vivir solos, por ejemplo, personas con discapacidades, edad avanzada y frágil condición o que sufren de demencia o epilepsia.

- Telesalud (*Telehealth*). Sensores electrónicos o equipamiento que monitorean a distancia los signos vitales del paciente. Las lecturas son enviadas a personal capaz analizar la información y tomar las decisiones pertinentes en el acto, sin que el paciente se traslade a una clínica. Este servicio está dirigido a ayudar a personas que padecen una condición de salud crónica a administrar la misma en su propio hogar. Las principales condiciones de salud crónicas consideradas en el programa fueron diabetes, falla cardíaca o enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

En diciembre de 2011, el Departamento de Salud del Reino Unido publicó un informe en el que se afirmaba que los resultados preliminares sobre el uso de los servicios de telesalud mostraban que “si se administra adecuadamente, la telesalud puede reducir sustancialmente la mortalidad, reducir la necesidad de ingresos hospitalarios, disminuir el número de días de hospitalización y reducir el tiempo pasado en emergencias”. El estudio presentó cifras sobre estas mejoras: 20% de reducción en admisiones a las unidades de emergencias, 14% de reducción en las admisiones voluntarias y en los días de hospitalización, y 8% de reducción en los costos de las tarifas. El dato más impactante fue 45 % de reducción en las tasas de mortalidad.

Estos resultados, si bien están en discusión (Steventon y otros, 2012), llevaron al Departamento de Salud del Reino Unido a anunciar un plan para llevar los servicios de telesalud y telecuidados a más de 3 millones de habitantes en los siguientes 5 años.

### **Estados Unidos. Servicio de Administración de Salud de Veteranos (*Veteran Health Administration, VHA*)**

Desde 1990 el Servicio de Administración de Salud de Veteranos (VHA) ha usado las TIC, en particular técnicas de telesalud, para proveer servicios a sus usuarios. Esto se ha hecho por tres vías (Broderick, 2013): teleconsultas por video interactivo, adquisición y transmisión de información como rayos X y fotos a especialistas en radiología, dermatología y retinopatía y telesalud en el hogar (*home telehealth*) usando dispositivos electrónicos de monitoreo. El servicio de telesalud en el hogar ha estado orientado al manejo de condiciones crónicas como diabetes, hipertensión, afecciones cardíacas y psiquiátricas. El programa ha resultado en reducciones de entre 20% y 30% en la cantidad y duración de las internaciones en hospital. En 2010, cerca de 300 000 pacientes fueron atendidos por el servicio de telesalud en general y, a fines de 2012, más de 70 000 pacientes usaban la tecnología de telesalud en el hogar.

Tanto la VHA como los servicios de salud nacionales del Reino Unido (NHS, *National Health Service*) planean intensificar el uso de herramientas de *mHealth*, en el entendido que ofrecen la posibilidad de alcanzar un universo mucho mayor de pacientes (Cruickshank 2013).

### **África. Iniciativas de *mHealth***

Organizaciones como *mHealth Alliance* y wvi impulsan iniciativas de *mHealth* en África, orientadas a salud materno infantil (Philbrick, 2012 y 2013), buscando contribuir a los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Muchas de ellas consisten en acciones para dar seguimiento a tratamientos y para formación en salud (por ejemplo, formación y recordatorios a embarazadas basados en mensajes de texto), así como de recolección de información. Acciones similares se han realizado en otras regiones del mundo, por ejemplo, Bangladesh (OMS, 2011). En la presente propuesta, se apunta a una utilización más profunda de las posibilidades que la telefonía móvil brinda, implementando servicios de monitoreo móvil de pacientes.

## 2. América Latina y el Caribe

### Red Mineira de Teleassistencia, Minas Gerais, Brasil

El Centro de Telesalud del Hospital de Clínicas de la Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil, inició sus actividades en telesalud en 2000 y desde 2005 coordina la Red Mineira de Teleassistencia (RTMG), una colaboración entre seis universidades públicas del estado que tiene por objetivo prestar servicios de telesalud como soporte a profesionales de salud en zonas remotas (Alkmim y otros, 2012).

En 2013, la RTMG presta servicios de teleasistencia a 660 municipios del estado, correspondientes a 821 puntos de atención. Las actividades contemplan telediagnóstico (análisis e informe de electrocardiogramas, MAPA y Holter) y teleconsultas (sistema de segunda opinión) en medicina, enfermería, odontología, farmacia, psicología, fisioterapia, nutrición y fonaudiología. En siete años, la RTMG realizó 1 200 000 informes de electrocardiogramas y 50 000 teleconsultas. Los estudios económico-financieros muestran la rentabilidad y sustentabilidad de este servicio, que es contratado por la Secretaría de Estado de Salud de Minas Gerais, contando con más de cien colaboradores técnicos, administrativos y clínicos en las seis universidades de la red.

### Fundación Enlace Hispano Americano de Salud (EHAS)

La Fundación EHAS está formada principalmente por universidades españolas y latinoamericanas (en Perú y Colombia), colaborando con otras instituciones (universidades y fundaciones) de la región. Su objetivo es la mejora de la atención de salud en las zonas rurales de países en desarrollo mediante el diseño y el uso adecuado de las TIC (Rendón y otros, 2011; Rey-Moreno y otros, 2011).

La Fundación EHAS trabaja con los sistemas públicos de salud, en especial establecimientos de atención primaria. El principal esfuerzo está encaminado en poner en comunicación a los técnicos que atienden los puestos de salud más aislados (localidades sin carretera ni acceso a telecomunicaciones fijas o móviles) con su médico de referencia, responsable del centro de salud cabecera de esos puestos.

En las zonas de intervención (principalmente áreas selváticas), el tiempo de transporte medio desde un puesto a su centro de salud de referencia es de cerca de 10 horas de viaje por río, lo que hace que el técnico (con escasa formación para el diagnóstico y tratamiento) tenga que atender casos de cierta complejidad.

El despliegue de infraestructura apropiada de telecomunicaciones en esas zonas busca cuatro efectos: i) mejorar el sistema de vigilancia epidemiológica, ii) aumentar la capacidad de diagnóstico y tratamiento en los establecimientos más aislados,; iii) reducir los viajes del personal de atención y de los pacientes, y iv) disminuir el tiempo medio de transferencia de pacientes urgentes —si no se puede evitar la transferencia, hacerla de manera ágil para reducir la mortalidad, principalmente de gestantes—.

La Fundación EHAS ha instalado cerca de 200 sistemas en Perú, Colombia, Cuba y Ecuador con impactos muy positivos en los procesos de atención de salud. La última instalación ha sido el proyecto EHAS-NAPO (Rendón y otros, 2011; Rey-Moreno y otros, 2011), una red WiFi de más de 500 Km., que interconecta a 18 establecimientos de salud de la Cuenca del Río Napo en el Perú, desde el Hospital Regional de Iquitos hasta el Puesto de Salud Cabo Pantoja, en la frontera con el Ecuador.

En los últimos años, la Fundación EHAS, en colaboración con universidades y hospitales españoles y argentinos, trabaja en el desarrollo de herramientas de apoyo al diagnóstico para la lucha contra enfermedades prevalentes de la infancia (enfermedades respiratorias y diarreicas) y la atención de gestantes. Un ejemplo es el estetoscopio inalámbrico de tiempo real para establecimientos sin médico, que permite que un facultativo remoto (normalmente el médico de referencia) escuche los sonidos cardiacos y respiratorios de un paciente, mientras que lo visualiza, guiando al técnico de salud en el correcto posicionamiento del estetoscopio. También se trabaja en sistemas para el envío de

imágenes de microscopía, ecografía y control fetal, y se ha desarrollado un ECG con tecnología apropiada a la realidad rural.

### **Programa de comunicación a distancia, Hospital de Pediatría Juan P. Garrahan, Argentina**

El Hospital Garrahan es un hospital pediátrico de referencia de alta complejidad, ubicado en Buenos Aires, inaugurado en 1987. En 1997 inició una experiencia de comunicación para la consulta y seguimiento de pacientes a distancia a través de oficinas de comunicación a distancia (OCD) (Carniglia y otros, 2010a y 2010b).

El Programa de Comunicación a Distancia contaba, en 2010, con una red de 88 OCD ubicadas en instituciones públicas de salud en 12 provincias. Desde cada OCD se apoya a distancia a los requerimientos de consultas especializadas provenientes de las instituciones públicas de la red. Desde su creación hasta 2010, las OCD han dado respuesta a más de 25 000 consultas. Con el crecimiento de la demanda del servicio, la red ha ido pasando de una estructura radial, en que todos los centros se comunicaban con el Hospital Garrahan, a una estructura jerárquica que respeta la referencialidad entre diferentes niveles asistenciales. Esta experiencia se apoya en un equipo multidisciplinario, con médicos, administrativos, psicólogas institucionales y trabajadoras sociales que colaboran en el armado de redes de comunicación entre instituciones públicas de salud. Este grupo ha ganado una amplia experiencia en los métodos a aplicar y barreras a salvar para una exitosa incorporación de nuevas instituciones y participantes a la red, por la vía de compatibilizar las herramientas tecnológicas y organizacionales con los procesos usados en cada institución.

### **Red Universitaria de Telemedicina, Brasil**

La Red Universitaria de Telemedicina (RUTE) de Brasil tiene como objetivos (Fernández y Oviedo, 2010; Coury y otros, 2011):

- Promover, en el ámbito nacional, la expansión y consolidación de las redes de telemedicina existentes en el país, proveyendo conectividad y, en parte, equipos de informática y comunicación. De este modo, los hospitales universitarios y clínicos de las regiones del país que desarrollan proyectos de telemedicina podrán comunicarse y los grupos de investigación nacionales e internacionales pueden colaborar entre ellos.
- Conectar los hospitales universitarios y clínicos a la columna vertebral nacional (*backbone*) de redes en investigación y educación
- Crear formalmente un núcleo de telemedicina en cada hospital
- Instalar una sala de videoconferencias
- Instalar la infraestructura inicial para teleconsultas y telediagnóstico.
- Entrenar al personal en video conferencias vía Internet.
- Crear y estimular la participación en grupos de interés especial.

Desde su comienzo en 2006, estos objetivos han sido ampliamente alcanzados. Actualmente interconecta 76 núcleos de telemedicina y sobre ella funcionan 60 grupos de interés en múltiples áreas de la medicina, apoyando actividades de educación, investigación y segunda opinión.

## **D. Perfil de proyecto**

En esta sección se presenta un perfil de proyecto. Se presentan sus objetivos generales y específicos, justificación y antecedentes, resultados e impactos esperados (en el sistema de salud y en el sistema de ciencia, tecnología e innovación), principales actividades y plazo. Asimismo se identifica un núcleo

inicial de participantes, que fueron consultados en la definición del perfil y que, por su experiencia y capacidades, muestran la viabilidad de llevar adelante este proyecto.

## 1. Objetivos

El objetivo más amplio es generar iniciativas regionales de desarrollo tecnológico en telemedicina y telesalud, con participación de actores académicos, empresariales y del sistema de salud, que se implanten y utilicen en forma sustentable.

Los objetivos específicos son el diseño, la implementación y la prueba clínica piloto de un sistema de telemonitoreo y telediagnóstico (en puestos de atención primaria a la salud o a nivel domiciliario) basado en dispositivos móviles (teléfonos celulares) orientado, como primera aplicación, al control prenatal materno-fetal y con aplicación también al monitoreo de enfermedades crónicas (cardíacas, hipertensión, diabetes).

## 2. Necesidad social y oportunidad tecnológica

A continuación se presenta la necesidad médica y social a la que se apunta y la oportunidad tecnológica que se busca aprovechar.

Los estados hipertensivos del embarazo son una complicación frecuente que alcanza 10% de los embarazos (Corradetti, 2010; Roberts y otros, 2003), es decir más de un millón de mujeres por año en América Latina y Caribe. Cerca de la mitad de estos casos evolucionan en preeclampsia, una condición de riesgo que puede conducir a la eclampsia, la que es la principal causa de mortalidad materna en la región (25,7% de los casos), así como en los países desarrollados (OMS, 2013, Khan y otros, 2006). El control de la presión arterial en el hogar o en forma ambulatoria frecuente permitiría una detección temprana de la preeclampsia, así como distinguir los casos en que tenga incidencia la denominada hipertensión de la túnica blanca (*white coat hypertension*), definida como elevación de la medida de la tensión arterial debida a ser tomada en un ambiente médico, adecuando por tanto el tratamiento y el manejo del embarazo (Bellomo y otros, 1999; Corradetti, 2010; Waugh y otros, 2001).

La penetración y capacidades actuales de los dispositivos móviles (teléfonos, tabletas y otros) y su conectividad permiten usarlos para realizar este control ambulatorio de la presión arterial, sea a nivel de puestos de atención primaria de la salud o a nivel domiciliario. La medida de la presión arterial puede hacerse por el método oscilométrico estándar, incluso a partir de medidores semiautomáticos existentes en el mercado y la información transmitida al celular vía USB o inalámbrica (*Bluetooth* o similar). Asimismo, es posible monitorear otras variables de interés para complementar el diagnóstico, por ejemplo el examen de proteinuria en orina, basado en tiras reactivas, de importancia en el diagnóstico de la preeclampsia. Existen estudios que muestran que la información colorimétrica de la tira reactiva se puede adquirir, transmitir y analizar en forma confiable usando la cámara de un celular (Shen y otros, 2012).

Otras variables de interés como electrocardiograma, temperatura, tococardiografía (monitoreo de frecuencia cardíaca del feto y contracciones uterinas) pueden ser también monitoreadas en la forma habitual y la información ser transmitida a un celular en forma cableada o preferentemente inalámbrica (*Bluetooth* o similar).

Finalmente el disponer de una plataforma basada en dispositivos móviles permite establecer un canal de comunicación dedicado con la paciente o el agente de salud o comunitario que se puede aprovechar para mejorar el cumplimiento de la gestante con el control del embarazo.

Hasta aquí se ha considerado un caso de uso particular (el control del embarazo y particularmente las complicaciones por hipertensión), pero la tecnología que se plantea desarrollar es también aplicable a control de embarazos en general así como a enfermedades crónicas como hipertensión, problemas cardíacos o diabetes.

Pensando en el contexto de los pacientes o puestos de salud alejados de grandes centros de referencia o en zonas aisladas, la solución pone a su servicio una plataforma de monitoreo y comunicación médica de gran valor. El disponer de esta aplicación con bajo costo, también la vuelve interesante para el uso intrahospitalario en hospitales obstétricos que manejan muchas camas y pacientes.

Algunos años atrás, el concepto de monitoreo móvil o distribuido de pacientes, como el que se propone aquí, enfrentaría la barrera de la no disponibilidad de dispositivos de cómputo, comunicación y conectividad en los domicilios de los pacientes o los pequeños puestos de salud y el alto costo de proveerlos. Actualmente la penetración de la tecnología celular en la región ofrece una respuesta. En 2011, más del 70% de la población de América Latina y Caribe tenía acceso a celular (ITU, 2011; Informa, 2011) y la penetración (cociente entre número de suscripciones y la población) superó el 100%, con un crecimiento de 9% anual (GSMA, 2011).

Los celulares que están llegando cada vez a mayor proporción de la población y comunidades, casi con independencia de la zona geográfica y estrato social, son cada vez más potentes como plataforma de cómputo y comunicación versátil tendiendo a ser del tipo *smartphone*, tendencia que se acentuará en los próximos años. Por tanto, la gran mayoría de la población y áreas geográficas cuenta con esta tecnología. Incluso en puestos de salud de lugares donde no está disponible, la plataforma que se propone desarrollar sería aplicable por al menos dos vías. En primer lugar, utilizando la tecnología de femtoceldas (Chandarsekhar y otros, 2008) que genera conectividad celular en pequeñas zonas, conectándose al resto de la red por otros mecanismos de conectividad inalámbrica (enlace de microondas o WiFi de larga distancia (Patra y otros, 2007; Flickenger y otros, 2008). Esta aproximación es explorada en el proyecto Tucán 3G —tecnologías inalámbricas para comunidades rurales aisladas de países en desarrollo basadas en despliegues de femtoceldas 3G celulares, 7º Programa Marco Unión Europea—, con participación de la fundación EHAS y pruebas piloto planificadas en Perú y Colombia. En segundo lugar, la tecnología desarrollada puede aplicarse también cambiando el mecanismo de conectividad que, en lugar de ser por red celular, puede usar otro medio, como WiFi de larga distancia. Por tanto, se dan las condiciones para aprovechar la tecnología celular para las aplicaciones propuestas.

Por otra parte, si bien a nivel internacional hay iniciativas que buscan desarrollar algunas de las propuestas de este proyecto, tales como sistemas de monitoreo fetal que se conectan a un celular (*Sense4Baby*) o análisis de tiras reactivas de orina con un celular (por ejemplo, mediante las aplicaciones *Piddle* y *Ucheck*), no tienen el enfoque sistémico aquí planteado. Por ello, las soluciones existentes en el mercado serán evaluados del punto de vista de su incorporación al sistema o su uso como accesorios al desarrollo propuesto, sin dejar de lado la posibilidad de desarrollar el conjunto del sistema de manera que esté adaptado a las realidades de los sistemas de salud y usuarios de los países de la región.

### 3. Resultados esperados

En esta sección, se resumen los resultados esperados del proyecto.

*Resultado esperado 1:* Se instalará un sistema de telemonitoreo de bajo costo incluyendo variables como presión arterial, ECG, temperatura, clasificación de tiras reactivas de proteinuria y monitoreo fetal.

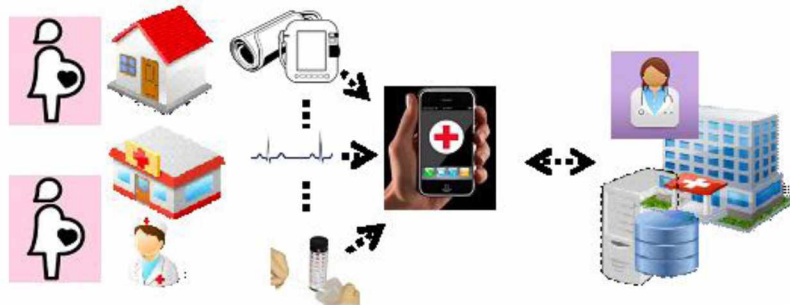
*Resultado esperado 2:* Se dispondrá de una plataforma para aplicaciones de telesalud basada en teléfonos celulares (*mhealth*), de uso sencillo e intuitivo, y adaptada a las realidades de los sistemas asistenciales de los países participantes.

Una visión esquemática de estos dos resultados se presenta en la diagrama I.2. Allí se representa sobre la izquierda a la paciente (en el esquema una embarazada) que desde su domicilio o puesto de salud de atención primaria es monitoreada midiendo todas o algunas de las magnitudes fisiológicas indicadas. Esta acción puede ser realizada, según el caso, directamente por la paciente o



con la ayuda de un agente de salud o agente comunitario o personal del puesto de salud. La información generada de las medidas realizadas es concentrada por un dispositivo móvil que la transmite a un centro de referencia, donde se almacena en bases de datos y se hace accesible al médico tratante a través de un portal o integrándolo a los sistemas de información de ese centro. De esta forma es posible realizar un seguimiento sistemático de la evolución de la paciente. Dependiendo del resultado de las medidas, el dispositivo móvil puede dar una pauta inicial de acción, a partir de lineamientos preprogramados en la aplicación, a la vez que se reciben indicaciones desde el centro de salud. Al mismo tiempo, la aplicación del celular permitirá comunicación de voz o video entre el centro médico de referencia y la paciente o el puesto de salud.

**DIAGRAMA I.2**  
**ESQUEMA DEL SISTEMA PROPUESTO**



Fuente: Elaboración propia.

*Resultado esperado 3:* Se realizará una evaluación clínica del sistema en aplicación de seguimiento (en puestos de salud o a nivel domiciliario, dependiendo del contexto) a embarazadas, en particular de riesgo por situaciones como estados hipertensivos y riesgo de preeclampsia y otras.

*Resultado esperado 4:* Se evaluará también el potencial del sistema para seguimiento de otras enfermedades crónicas así como el potencial para su aplicación, en su totalidad o en parte, en puestos de salud en zonas aisladas (en conjunto con tecnología de femtoceldas celulares u otros mecanismos de conectividad) y como solución de bajo costo en sistemas intrahospitalarios.

*Resultado esperado 5:* Generación de una red regional multidisciplinaria y académico-industrial-asistencial en el tema.

## 4. Impactos esperados

En el sistema de salud:

- Alerta temprana de complicaciones, potencial reducción de mortalidad materno-infantil, mejora del acceso a la atención médica en la atención primaria y en poblaciones aisladas o alejadas de grandes centros de salud, potencial mejora de la adhesión al control del embarazo y seguimiento médico de enfermedades crónicas. Reducción de costos al tomar decisiones oportunas de internación previniendo el desarrollo de condiciones de tratamiento más complejo y evitar consultas o internaciones innecesarias.

En el sistema de ciencia, tecnología e innovación:

- Generación de sistemas adaptados a las necesidades asistenciales de la región aplicables en otras aplicaciones de telesalud.
- Fortalecimiento de capacidades de IyD y emprendimientos de alto nivel profesional en telemedicina, con alto valor agregado, en forma sinérgica en la región.



## 5. Actividades y plazo

El desarrollo de esta propuesta involucra las siguientes actividades.

- Diseño, fabricación, verificación y documentación del sistema y sus partes adecuada para la aprobación regulatoria como sistemas y equipos médicos y la autorización para la realización de la prueba piloto. Se incluye el diseño del sistema en su conjunto, dispositivos de medida, aplicaciones del celular, sistema / portal para acceso en el centro de referencia y definición de criterios clínicos de uso. Eventualmente algunas actividades, tales como el equipo de medida de presión arterial, se podrían realizar con base en la adaptación o incorporación de productos existentes en el mercado.
- Ensayos regulatorios.
- Prueba clínica inicial, donde se apunta a realizarla en al menos dos centros.
- Reuniones de coordinación e intercambio de técnicos y estudiantes de posgrado entre los participantes.

En la ejecución del proyecto, se prevé que participen investigadores y técnicos con experiencia en ingeniería y medicina, estudiantes de posgrado en ingeniería y medicina, ingenieros de empresas y personal de salud. Con base en una planificación y asignación de costos preliminar, se estima un plazo de 3 años para la ejecución (incluyendo las pruebas clínicas piloto).

## 6. Núcleo inicial potencial de participantes

La elaboración de este perfil se realizó en consulta con el siguiente conjunto de actores que muestran la existencia, en la región, de experiencias, capacidades y voluntad que hacen viable llevar adelante el proyecto.

Estos actores son i) tres grupos universitarios de ingeniería que conjugan experiencia en sistemas y dispositivos médicos, aplicaciones de telemedicina y sistemas embebidos (Universidad de los Andes, Colombia; Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, y Universidad de la República, Uruguay), ii) una fundación que trabaja en el diseño e implantación de sistemas de telemedicina (Fundación Fundatel, Argentina), iii) grupos médicos de cuatro hospitales que conjugan experiencia en obstetricia y otras especialidades médicas y en implantación de experiencias de telemedicina (Hospital Universitario Santa Fe de Bogotá, Colombia; Hospital de Clínicas, Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil; Hospital Garrahan, Argentina, y Hospital Pereira Rossell / Facultad de Medicina, Universidad de la República, Uruguay) y iv) dos empresas (CCC del Uruguay, con experiencia en diseño de dispositivos y sistemas médicos, algunos de los cuales incluyen operación a distancia vía Internet y umov.me (Brasil) con amplia experiencia en diseño e implantación de sistemas basados en tecnología móvil).

## Bibliografía

- Alkmim, M. B. y otros (2012), Incorporación de la telesalud en el sistema público de salud de Minas Gerais, Brasil, CEPAL.
- Bellomo, G. y otros (1999), "Prognostic value of 24-hour blood pressure in pregnancy." *Jama* 282, N° 15, 1447-1452.
- Broderick, (2013), A. Broderick, The Veterans Health Administration: Taking Home Telehealth Services to Scale Nationally, The Commonwealth Fund, January. Disponible en <http://www.commonwealthfund.org/Publications/Case-Studies/2013/Jan/Telehealth-VHA.aspx> (visitado en 26/6/2013).
- Carniglia, L. y otros (2010a), "Comunicarse a distancia. Reflexiones sobre una práctica en salud", *Medicina Infantil*, Vol. XVII, N° 3, septiembre.

- Carniglia, L. y otros (2010b), “Programa de Comunicación a Distancia. Elaboración de indicadores cuali-cuantitativos para su evaluación”, *Medicina Infantil*, Vol. XVII, Nº 3, septiembre.
- Chandrasekhar, Vikram y otros (2008), "Femtocell networks: a survey", *Communications Magazine*, IEEE 46.9 (2008): 59-67.
- Corradetti, A. (2010), *Ambulatory blood pressure monitoring in pregnancy*, Università Politecnica delle Marche, Doctoral Thesis, 2009/2010, <http://openarchive.univpm.it/jspui/handle/123456789/274>
- Coury, W. y otros (2011), “Implementing Rede Universitaria de Telemedicina Usability —the Brazilian Telemedicine University Network”, *Journal of Computer Science* 7 (8): 1224-1229.
- Cruikshank, J. y otros (2013), “Making Connections: A transatlantic exchange to support the adoption of digital health between the US VHA and England’s NHS”, disponible en <http://www.2020health.org/2020health/Publications/Publications-2013/Making-Connections.html>] (visitado el 26/6/2013).
- Fernández, A. y E. Oviedo (eds.) (2010), *Salud electrónica en América Latina y el Caribe: Avances y desafíos*, CEPAL.
- Flickenger, Rob y otros (2008), “Very long distance wi-fi networks”, *Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Networked systems for developing regions*, ACM.
- Garnaut, R. (2008), *The Innovation Challenge*, Cap. 18 en *The Garnaut Climate Change Review*, Cambridge University Press, disponible en línea en <http://www.garnautreview.org.au/> (visitado el 21/06/2013).
- Gonzalez, M. y otros (2013), *Desarrollo de la telesalud en México*, Cepal, 2013.
- GSMA (2011), *Observatorio móvil de América Latina 2011*, disponible en línea en <http://www.gsma.com/publicpolicy/wp-content/uploads/2012/04/latammospa.pdf> (visitado el 26/06/2013).
- Informa (2011), “Latin America reaches 100% mobile penetration”, *Informa Telecoms & Media*, Disponible en (<http://www.informa.com/Media-centre/Press-releases--news/Latest-News/Latin-America-reaches-100-mobile-penetration-says-Telecoms--Media/>) (Visitado el 26/06/2013).
- ITU (2011), “Dual SIMS drive Latin America to 100% penetration rate as 30% lack mobile phones”, *ICT Statistics Newslog*, International Telecommunications Union. Disponible en <http://www.itu.int/ITU/ict/newslog/DualSIMs+Drive+Latin+America+To+100+Penetration+Rate+As+30+Lack+Mobile+Phones.aspx> (Visitado el 26/06/2013)
- Khan, K. S. y otros (2006), “WHO analysis of causes of maternal death: a systematic review”, *Lancet*, 367, p. 1066–1074.
- Kopec, A. y otros (2006), *Aplicaciones de telecomunicaciones en salud en la Subregión Andina: Telemedicina*, Organismo Andino de Salud Lima Convenio Hipólito Unanue 2da. Ed.
- OMS (2011), “mHealth New horizons for health through mobile technologies”, *Global Observatory for eHealth Series*, 3, World Health Organization.
- OMS (2013), “Causes of maternal death, World Health Organization. Disponible en [http://www.who.int/reproductivehealth/topics/maternal\\_perinatal/epidemiology/en/](http://www.who.int/reproductivehealth/topics/maternal_perinatal/epidemiology/en/) (visitado el 26/6/2013).
- Patra, Rabin y otros (2007), "Wildnet: Design and implementation of high performance Wifi based long distance networks", NSDI, 2007.
- Pawar, y otros (2012) , A framework for the comparison of mobile patient monitoring systems, *Journal of Biomedical Informatics* 45, Elsevier, pp. 544–556.
- Philbrick, W. (2012), “Leveraging Mobile Technologies for Maternal, Newborn & Child health: A framework for engagement” MHealth Alliance, UN Foundation. Disponible en [http://www.healthunbound.org/sites/default/files/uploads/engagement\\_framework\\_levering\\_mobile\\_for\\_mnch.pdf](http://www.healthunbound.org/sites/default/files/uploads/engagement_framework_levering_mobile_for_mnch.pdf) (visitado en 26/6/2013).
- Philbrick, W. (2013), “mHealth and MHCH: State of the evidence”, MHealth Alliance, UN Foundation, disponible en [http://www.mhealthalliance.org/images/content/mhealthmnch\\_evidence\\_final.pdf](http://www.mhealthalliance.org/images/content/mhealthmnch_evidence_final.pdf) (visitado en 26/6/2013).
- Rendón, A. y otros (2011), *Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para zonas rurales, Aplicación a la atención de salud en países en desarrollo*, CYTED.
- Rey-Moreno, C. y otros (2011), “A Telemedicine WiFi Network Optimized for Long Distances in the Amazonian Jungle of Peru”, *Proceedings of the 3rd Extreme Conference on Communication*, ACM.
- Roberts, J. y otros (2003), “Summary of the NHLBI working group on research on hypertension during pregnancy”, *Hypertension*, Vol 41, Nº 3, p. 437-445.

- Sanders, Caroline y otros (2012), "Exploring barriers to participation and adoption of telehealth and telecare within the Whole System Demonstrator trial: A qualitative study." *BMC health services research* 12 (1): 220, 2012.
- Shen, L. y otros (2012), "Point-of-care colorimetric detection with a smartphone", *Lab on a chip* 2012, pp. 4240-4243.
- Steventon, A. y otros (2012), "Effect of telehealth on use of secondary care and mortality: findings from the Whole System Demonstrator cluster randomised trial", *British Medical Journal*, 344, 2012.
- Waugh, J. y otros (2001), "Home monitoring of blood pressure in pregnancy at high risk of pre-eclampsia." *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology* 99, N° 1, 109-111.

#### Páginas web consultadas

- <http://www.mhealthalliance.org>, (visitada el 26/6/2013).
- <http://www.who.int/topics/ehealth/en/> (visitado el 21/06/2013).
- <http://rute.rnp.br/>, (visitado el 26/6/2013).
- <http://sense4baby.com/> (Visitado el 26/6/2013).
- <http://www.chas.org/que-hacemos/investigacion-y-desarrollo/tucan3g/> (visitado el 26/6/2013).
- <http://locs.upc.edu/www-icttucan3g/> (visitado el 26/6/2013).
- <http://uchek.in/> (visitado el 26/6/2013).
- <https://www.gov.uk/government/publications/whole-system-demonstrator-programme-headline-findings-december-2011>(visitado el 26/6/2013).
- <https://www.gov.uk/government/news/uk-to-be-world-leader-on-health-technology-says-hunt> (visitado el 26/6/2013).
- <http://www.un.org/millennium/declaration/ares552e.pdf> (visitado el 21/06/2013).
- <http://www.un.org/millenniumgoals/> (visitado el 21/06/2013).
- <http://wvi.org/mhealth> (visitada el 26/6/2013).

## II. Tecnología asistida

*Fabiana Fator Gouvêa Bonilha,  
Sara Agueda Fuenzalida Squella, Rodrigo Cubillos Bravo y  
José Guadalupe Guillermo Martínez Ventura<sup>2</sup>*

### A. Contexto y justificación

Hasta mediados de la década de 1990, las personas con discapacidad debían tomar la iniciativa para adaptarse a los ambientes de interacción humana, que eran concebidos solo para las personas consideradas normales. En esta época, se desarrolló el movimiento de integración, que traía la idea de que las personas con discapacidad, consideradas especiales, debían ser normalizadas para participar en las actividades con las demás personas. Con el refinamiento de conceptos, una mayor disponibilidad de recursos y el acceso a mejores tecnologías, la sociedad avanzó hacia la percepción de que la discapacidad no estaba en las personas, sino en sus propios ambientes. De por sí, la discapacidad no genera exclusión, la que es resultado de las condiciones desfavorables a las que están expuestas las personas. Mejor planeados y preparados, estos ambientes podrían atender una mayor variedad de características físicas, sensoriales y cognitivas, permitiendo la evolución gradual del concepto de integración de los diferentes al de inclusión de las diferencias. La tecnología asistiva (TA) fue imprescindible en este proceso, volviéndose una herramienta para eliminar las barreras del medio ambiente que impiden a las personas con discapacidad el ejercicio pleno de sus potencialidades.

La TA es un área de conocimiento interdisciplinario, donde se tiende a considerar no sólo productos, sino también todo recurso, servicio, estrategia, metodología o práctica que promueva la funcionalidad de las personas con discapacidad, con movilidad reducida o ancianos, favoreciendo su autonomía y participación social.

---

<sup>2</sup> Fabiana Fator Gouvêa Bonilha es jefa del DRI/CTI Renato Archer, Campinas, SP, Brasil. Sara Agueda Fuenzalida Squella es investigadora en factores humanos y ergonomía del CTI Renato Archer. Rodrigo Cubillos Bravo es coordinador nacional de TA y jefe de la unidad de TA de Teletón y académico instructor de TO de la Universidad de Chile, en Santiago. José Guadalupe Guillermo Martínez Ventura es consultor en TO y TA, presidente de la Asociación de Profesionales en TO (APTO) y director ejecutivo de Conformar: Mobiliario especial, en México, D.F.

En los países de la América Latina, este campo se encuentra en construcción, convergiendo en una definición y una tipología más adecuada. Estos esfuerzos deben estar alineados con los principios y directrices de la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, documento firmado por la mayoría de los países de la región, aprobado en la Asamblea General de las Naciones Unidas, el que, en su preámbulo, reconoce la importancia de la cooperación internacional para mejorar "las condiciones de vida de las personas con discapacidad en todos los países, en particular en los en desarrollo."

El Informe Mundial sobre la Discapacidad señala algunos obstáculos que enfrenta esta población, denominados barreras incapacitantes. Es imprescindible considerarlos en este perfil de proyecto de calificación en TA, ya que afectan directamente a la interacción de las personas con este campo tecnológico, entre estos destacan políticas inadecuadas, actitudes negativas (visión de incapacidad e improductividad), fallas en la oferta de servicios, problemas en la prestación de servicios, financiamiento inadecuado, falta de accesibilidad y falta de consulta e involucramiento. Todas estas barreras conducen al centro de la problemática relacionada con la TA.

Ante estos obstáculos, en la práctica se observa que un contingente poblacional latinoamericano recibe una atención inadecuada en materia de recursos de TA, lo que, en contraste con los países desarrollados, todavía son caros y están poco difundidos.

En América Latina y Caribe, hay un número significativo de personas con discapacidad. Sin dejar de reconocer que, en las estadísticas oficiales, la clasificación de las discapacidades varía entre países y no proporciona información precisa, se puede estimar, a partir de los datos existentes, así como la recomendación de la Organización Mundial de la Salud, que el número de personas con discapacidad puede llegar a 70 millones (véase el cuadro II.1). El análisis de la población con discapacidad en la región es muy difícil por la dispersión de datos, la falta de homologación derivada de la diversidad, los distintos años en que se recoge la información, y el peligro de limitar la medición de la discapacidad a cifras estadísticas, dejando de lado la cultura.

**CUADRO II.1**  
**PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**

País	Año del censo	Población total	Población con discapacidad	Porcentajes
Antigua y Barbuda	2011	83 278	a	a
Argentina	2010	40 117 096	5 114 119	12,8
Bahamas	2010	351 461	7 071 <sup>b</sup>	2,3 <sup>b</sup>
Barbados	2010	250 010	12 871 <sup>b</sup>	4,6 <sup>b</sup>
Belice	2009	166 700	a	a
Bolivia (Estado Plurinacional de)	2012	10 389 913	708 999 <sup>b</sup>	7 <sup>b</sup>
Brasil	2010	190 732 694	45 670 823	23,9
Chile (2012 en auditoría)	2012	15 166 435	2 119 316	14,0
Colombia	2005	41 468 384	2653977	6,4
Costa Rica	2011	4 301 712	452 849	10,6
Dominica	2010	9 445 281	1 160 847	12,3
El Salvador	2007	5 744 113	105 996 <sup>b</sup>	1,5
Ecuador	2010	14 483 499	360 254 <sup>c</sup>	2,5
Granada	2008	108 132	a	a
Guatemala	2011	14 713 763	76 048 (2002)	
Guyana	2002	751 223	48 419	6,4
Haití	2012	9 801 664 <sup>b</sup>	a	a

Cuadro II.1 (conclusión)

País	Año del censo	Población total	Población con discapacidad	Porcentajes
Honduras	2001	6 535 344	494,01 <sup>b</sup>	6,5 <sup>b</sup>
Jamaica	2011	2 697 983	78 521 <sup>b</sup>	2,8 <sup>b</sup>
México	2010	112 336 538	5 739 270	5,2
Nicaragua	2005	5 142 098	628 729 <sup>b</sup>	10,9 <sup>b</sup>
Panamá	2010	3 405 813	99 336	2,9
Paraguay	2002	5 163 198	<sup>a</sup>	<sup>a</sup>
Perú	2007	27 412 157	667 925	2,4
República Dominicana	2010	9 445 281	1 160 847	12,3
Santa Lucía	2010	166 526	<sup>a</sup>	<sup>a</sup>
Suriname	2005	566 846	13 784 <sup>b</sup>	2,8 <sup>b</sup>
Saint Kitts y Nevis	2011 <sup>b</sup>	53 051 <sup>b</sup>	<sup>a</sup>	<sup>a</sup>
San Vicente y las Granadinas	2011 <sup>b</sup>	109 365 <sup>b</sup>	<sup>a</sup>	<sup>a</sup>
Trinidad y Tabago	2011 <sup>b</sup>	1 346 000 <sup>b</sup>	47 131 <sup>b</sup>	4,5 <sup>b</sup>
Uruguay	2012	3 286 314	559 591	17,0
Venezuela (República Bolivariana de)	2011	28 946 101	360 000	1,2

Fuente: Elaboración propia.

<sup>a</sup> No hay datos oficiales, la OMS-OPS recomienda calcular 10% de la población total.

<sup>b</sup> Datos del Banco Mundial (2008).

<sup>c</sup> Datos del CONADIS.

Más allá de los datos cuantitativos sobre las personas con discapacidad, es necesario considerar la discapacidad de una manera cualitativa, teniendo en cuenta las dimensiones que la componen, incluyendo los factores relacionados con la desigualdad social y la diversidad de condiciones culturales y económicas.

Los usuarios de TA tienen características que, a menudo, no son contempladas en la conceptualización de los recursos, a lo que se suma el hecho de que no existe una infraestructura para calificar de los productos y servicios de TA. Los laboratorios que trabajan en este campo no están suficientemente equipados para atender las especificidades de la TA y los profesionales que componen sus equipos no están capacitados en el área. Por lo tanto, no existe una metodología consistente y sistemática dirigida a la calificación de la TA.

La falta de sistematización del proceso de calificación lleva a la implementación de programas inadecuados de financiamiento, que no se ajustan a la definición de TA. Dado que no se cuenta con una infraestructura de calificación de productos y servicios, los recursos asignados no se utilizan eficientemente.

El proceso de calificación de en TA debe ser concebido sobre la base del diálogo entre los actores sociales, lo que exige la creación de mecanismos adecuados para la participación directa y efectiva de los usuarios, y otros segmentos sociales involucrados en este campo.

El primero es el gobierno, que es un actor clave en el proceso de calificación, ya que la implementación de programas y políticas públicas posibilita el establecimiento de parámetros legales y económicos para viabilizar una cadena de acciones integradas. Dado que la comunidad científica, académica y tecnológica puede dar insumos teóricos y metodológicos importantes para la TA, su participación en el proceso de clasificación de la TA también es indispensable. Un tercer actor importante es el sector empresarial, que actúa en la frontera de la innovación y la fabricación y oferta de productos. El cuarto segmento, cuya actuación es fundamental, es la comunidad de usuarios. Su participación permite que las actividades y resultados de la investigación, el desarrollo y la innovación en TA atiendan mejor sus demandas.

No sólo las personas con discapacidad deben interactuar con la TA, sino también todos los que se vinculan directamente con estas personas. Por lo tanto, los familiares, los profesionales y todas las personas que se relacionan con este público pueden ser considerados como usuarios en segunda instancia; por ello, también deben tener un papel relevante en la concepción de los productos y servicios.

Por último, se destaca el papel de los medios de comunicación que posibilitan una mayor difusión de las informaciones, la promoción de la participación y el apoyo de la sociedad.

Un problema adicional en la región es el alto costo de los productos y servicios de TA, debido a su falta de disponibilidad a gran escala, lo que dificulta el acceso del público en general. Al mismo tiempo, la demanda no satisfecha crea grandes oportunidades para el desarrollo de una cadena productiva de alto contenido tecnológico, pues los productos y servicios relacionados con la TA requieren habilidades en la frontera del conocimiento. Instrumentos de política industrial para la TA pueden estimular la innovación y el desarrollo económico.

Por lo tanto, las acciones relativas a la calificación de TA contribuyen a paliar la exclusión que sufren las personas con discapacidad al mejorar la eficiencia y eficacia de los productos y servicios ofrecidos y, en consecuencia, proporcionar a estas personas igualdad de oportunidades, especialmente en la educación y el trabajo.

Para que los productos y servicios de TA se vuelvan accesibles es necesario sistematizar el proceso de calificación de los productos, servicios, estrategias y prácticas relacionadas, lo que permitirían hacerlos confiables. La calificación debe ser entendida en un contexto amplio, abarcando, más allá de las características del propio recurso (material, durabilidad, etc.), la adhesión del usuario, que implica funcionalidad y uso intuitivo. Los diferentes segmentos necesitan actuar de forma articulada e integrada en este tema, en particular en el proceso de calificación.

Además, es importante consolidar el levantamiento permanente de información relacionada con la TA para potencializar las herramientas de trabajo intersectorial. Es fundamental establecer criterios para la categorización de los productos, distinguiéndose entre los que se encuadran o no en este campo. La calificación de los productos crea condiciones favorables para la innovación.

También es necesario tener en cuenta la base de los conocimientos en los países. Se entiende, por tanto, la importancia de la complementariedad entre las estructuras y los conocimientos en cada país, de modo que se tomen los esfuerzos ya existentes en relación con las políticas públicas y programas para las personas con discapacidad y en lo que se refiere específicamente a la TA.

Así, se enfatiza el tema de la calificación como modo de concebir el sistema, y se crea una infraestructura que permita la colaboración y el intercambio de experiencias entre los países.

Dada la magnitud del problema, su interdisciplinariedad y falta de acuerdo sobre la definición de la TA y la discapacidad, sólo cuando se sumen los esfuerzos y capacidades de todos los países socios será posible mejorar los productos y servicios de TA, especialmente el acceso por el público. Promoviendo así el desarrollo humano pleno en sus dimensiones sociales, económicas, políticas y culturales, siempre considerando a la solidaridad y el respeto a las diferencias como valores fundamentales.

## **B. Impactos sociales**

Como se señaló, el público objetivo que puede beneficiarse de la calificación de la TA en América Latina y Caribe es de aproximadamente 70 millones de personas. El proyecto puede tener impactos sociales y económicos positivos al crear condiciones para la inclusión, la mejora de las políticas públicas y la reducción de importaciones y del costo de estos productos. Además, la calificación de los productos de TA puede ser un fuerte inductor de innovación en sectores como los de productos de ortesis y prótesis, línea Braille y comunicación alternativa. Se pueden esperar los siguientes efectos:

- Mayor difusión del conocimiento sobre el tema entre los actores sociales.

- Mejor infraestructura de los laboratorios.
- Capacitación de profesionales que trabajan directamente en la categorización y calificación, así como los que trabajan indirectamente, tales como profesionales de la rehabilitación y educadores.
- Generación de puestos de trabajo en el mundo académico, científico, tecnológico y productivo, y para las personas con discapacidad a partir del aumento de la eficiencia de sus herramientas y servicios.
- Creación de un entorno accesible para garantizar a las personas con discapacidad, con movilidad reducida y ancianas, las condiciones de uso, con la seguridad y la autonomía del mobiliario y equipo urbano, los edificios, los servicios de transporte y los sistemas de comunicación e información.
- Favorecer la integración de personas con discapacidad en la enseñanza general desde la educación primaria hasta la superior, impulsando la creación de escuelas inclusivas que cuenten con recursos tecnológicos apropiados para este público.
- Mejor calidad de vida de las personas con discapacidad, que les posibilite una compensación completa de oportunidades en su relación de otras personas y una participación social plena.
- Fomento de la investigación, el desarrollo y la innovación en TA.
- Mejora funcionamiento del mercado, que será impulsado a desarrollar un mayor número de productos, apoyados por el conocimiento y la normativa teórica y práctica.

## C. Objetivos y actividades

El objetivo general es implementar y consolidar un sistema de calificación e incentivos a la innovación en TA, basado en la articulación entre los actores involucrados con esta área, de forma compartida con las estructuras existentes y a ser construidas en América Latina. El detalle de los objetivos específicos, resultados esperados, actividades y principales supuestos se presenta en la matriz lógica del proyecto (véase el cuadro II.2).

**CUADRO II.2**  
**MATRIZ LÓGICA**

Objetivos	Resultados	Actividades	Supuestos importantes
Objetivo general  Implementar y consolidar un sistema de calificación e incentivos a la innovación de TA, basado en la articulación entre los actores involucrados en esta área del conocimiento, de forma compartida con las estructuras existentes y que serán construidas en América Latina y Caribe.	1) Núcleos de referencia para la formación teórica y práctica en TA	Relevamiento de datos sobre conocimientos teóricos y prácticos acerca de TA y de los aspectos culturales que subyacen a la condición de las personas con discapacidad en cada país.  Concebir estrategias de formación teóricas y prácticas compatibles con la realidad socio-cultural de cada país involucrado.  Relevamiento de espacios institucionales activos en TA.  Creación e implementación de núcleos de referencia para entrenadores  Talleres relacionados con conceptos, denominaciones, actitudes y categorización de TA;  Taller de fabricación de productos de TA de bajo costo;	Gran parte de los países latinoamericanos son signatarios de la "Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad";  • Los países tienden a usar la misma terminología de categorización en TA;  • El proyecto promueve la difusión de los conceptos más recientes en relación con los debates sobre la terminología referente a las personas con discapacidad y en TA en todas las áreas del conocimiento y por parte de todos los agentes sociales;  • Esta propuesta favorece el intercambio de expertos en el estado del arte, generando un conocimiento más amplio;



Cuadro II.2 (conclusión)

Objetivos	Resultados	Actividades	Supuestos importantes
Objetivos específicos  Crear modelo de formación teórica y práctica orientada a los agentes posteriormente involucrados en el proceso de calificación en TA.  Propiciar el involucramiento de diferentes actores en el proceso de calificación de productos y servicios en TA;  Implementar una infraestructura de laboratorios que permita realizar ensayos y pruebas en TA.	2) Red de Información e innovación en TA.	Diseño y desarrollo de una plataforma para interconectar los laboratorios y los actores involucrados en el proceso de calificación;  Integración entre los grupos intersectoriales (estrategia para consolidar la red)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• América Latina promueve programas públicos similares, lo que reduce los costos de la construcción de redes de información, facilitando las acciones de fomento (académicos, científicos, tecnólogos, productores y asistentes) y la promoción de la innovación;</li> <li>• Los posibles interesados cuentan con redes de laboratorios y la capacitación en sus centros académicos y científicos, los que, con algunas mejoras, pueden generar una red de calificación de productos y servicios de asistencia técnica;</li> </ul>
	3) Infraestructura de laboratorios interdisciplinarios, con profesionales de diferentes áreas	<p>Realización de un levantamiento de laboratorios que trabajan en el proceso de calificación;</p> <p>Realización de un diagnóstico de la infraestructura para la calificación, identificando los principales obstáculos y las deficiencias en el proceso;</p> <p>Acreditación de los laboratorios que trabajan en el proceso de calificación;</p> <p>Creación de una infraestructura de laboratorios interdisciplinarios, con actuación de profesionales de diferentes áreas.</p> <p>Capacitación de los agentes involucrados en el proceso de calificación de productos, habilitándolos para comprender la TA desde los puntos de vista del usuario y el investigador/desarrollador;</p> <p>Concepción, sistematización e implementación de una metodología de calificación de los productos de TA.</p> <p>Elaboración de estrategias de reglamentación de los productos de TA, que constituyen factores comprobatorios de su cualificación.</p> <p>Implementación de un grupo de trabajo que actúe en la normalización (estandarización) de los productos.</p> <p>Evaluación continua de las prioridades de los productos que se calificarán.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos los países cuentan con investigadores y especialistas en el campo de la TA.</li> <li>• Disparidad cumplimiento de los países de América Latina de la "Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad".</li> <li>• Productos y servicios en TA están poco desarrollados.</li> <li>• Permanece el modelo de "discapacidad médica", en la que el énfasis está en los impedimentos de las personas y no en las barreras ambientales;</li> <li>• Los profesionales de la calificación no entienden las reglas y los requisitos de la TA;</li> <li>• Los estándares nacionales de América Latina que incluyan la TA son insignificantes;</li> <li>• Las normas existentes no consideran la diversidad de los productos y servicios de TA.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

## D. Marco institucional

Las entidades líderes que participaron de la elaboración de este perfil de proyecto fueron, en Brasil, el Centro Nacional de Referência em Tecnologia Assistiva / Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer; en Chile, el Centro de Trastornos del Movimiento (CETRAM) - Teletón Santiago y la Universidad de Chile, y, en México, el Instituto Nacional de Medicina de Rehabilitación, Centro de Rehabilitación Infantil Teletón (CRIT) Estado de México, la Asociación de Profesionales en Terapia Ocupacional, la Clínica de Rehabilitación Voltare, CONFORMA (empresa de mobiliario especializado y rehabilitación) y Rochester México S.A.

Otros socios dispuestos a participar en el proyecto son, en la República Dominicana, la Asociación Dominicana de Rehabilitación y la Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra; en Argentina, la Asociación en Defensa del Infante Neurológico (AEDIN); en Uruguay, la Teletón; en Guatemala, la Universidad de San Carlos de Guatemala; en Puerto Rico, el Programa de Asistencia Tecnológica de la Universidad de Puerto Rico, y en Chile, la Corporación Santo Tomás. Estas entidades ya han cooperado proveyendo informaciones.

## E. Preevaluación cualitativa y factibilidad

### 1. Fortalezas

- Gran parte de los países latinoamericanos son signatarios de la "Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad" y tienden a compartir la misma terminología en materia de categorización de TA.
- El proyecto promueve la difusión de los conceptos más recientes en el debate sobre la terminología a usar para referirse a las personas con discapacidad y a la TA en todas las áreas del conocimiento y por todos los agentes sociales, al tiempo que favorece el intercambio de expertos en el estado del arte, generando un conocimiento más amplio.
- Si se promueven programas públicos similares, se reducen los costos de la construcción de redes de información, facilitando las acciones de fomento (académicos, científicos, tecnológicos, productores y asistentes) y de impulso a la innovación.
- Los posibles interesados cuentan con redes de laboratorios y la capacitación en sus centros académicos y científicos; con algunas mejoras pueden generar una red de calificación de los productos y servicios de asistencia técnica.
- Todos los países cuentan con investigadores y especialistas en el campo de la TA.

### 2. Debilidades

- Disparidad entre países respecto del cumplimiento de la "Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad".
- Los productos y servicios de TA están poco desarrollados a nivel nacional.
- Continúa el modelo de discapacidad médica, en el que el énfasis está en los impedimentos de las personas y no en las barreras ambientales.
- Los profesionales de la calificación no entienden las reglas y los requisitos relativos a la TA.
- Los estándares nacionales que incluyen la TA son insignificantes.
- Las normas no contemplan la diversidad de productos y servicios de TA.



### III. Manufactura aditiva

*Gustavo A. Abraham, Pedro Yoshito Noritomi,  
Ciro A. Rodríguez y Marcos Sabino<sup>3</sup>*

#### A. Contexto y justificación

El objetivo general del proyecto es que los países de América Latina y del Caribe se inserten en la economía mundial como desarrolladores de soluciones innovadoras en productos de alto valor agregado mediante el uso de la tecnología de impresión 3D. El objetivo específico es generar soluciones innovadoras y de alta tecnología para enfrentar problemas en el sistema industrial de la salud mediante el uso de la impresión 3D.

La industria mundial ha experimentado cambios importantes desde la crisis de 2008, que han afectado a las economías desarrolladas, en especial de América del Norte y Europa, que tienen gran influencia sobre las otras economías del planeta. Los desequilibrios en los flujos de capitales y la migración de algunas grandes empresas hacia los países emergentes han causado alteraciones, principalmente en los mercados locales de trabajo, generando cambios en los regímenes de empleo y la disponibilidad de recursos.

La manufactura en los países avanzados y emergentes (entre los que se encuentra varios de América Latina y el Caribe) vive un momento de cambio en su filosofía de funcionamiento, que ha llevado a las empresas a buscar soluciones eficientes para aumentar su competitividad y enfrentar la competencia global. Este esfuerzo, que busca aumentar el valor agregado de los productos y el valor por unidad fabricada, al mismo tiempo reduce la capacidad de contribución de las empresas a la

---

<sup>3</sup> Gustavo A. Abraham es investigador independiente del CONICET, profesor asociado de la Universidad Nacional de Mar del Plata, División polímeros biomédicos del Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA), Mar del Plata, Argentina. Pedro Yoshito Noritomi es investigador en el Centro de Tecnología de la Información Renato Archer (CTI), Campinas, SP, Brasil. Ciro A. Rodríguez es director del Centro de innovación en diseño y tecnología del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, México. Marcos Sabino, es profesor de química orgánica e investigador en el Área de polímeros biodegradables, biopolímeros, biomateriales e ingeniería de tejidos, director del Grupo de investigación B5IDA-Universidad Simón Bolívar, Caracas.

generación de empleos, una vez que la base de mano de obra barata pasa a ser sustituida por maquinaria o trabajo más especializado.

Si, por un lado, la manufactura dependiente de mano de obra barata está en crisis (principalmente por su poca competitividad y los insumos y recursos naturales necesarios para la producción), nuevos negocios basados en la atención de las demandas personalizadas o fragmentadas del mercado de consumo han ganado terreno. El avance tecnológico en la economía mundial impone límites a la rentabilidad de la producción en masa porque, si bien provee a mercados muy grandes, el carácter regional o local de las necesidades impiden una solución única.

En paralelo con el avance de la tecnología, surgen mercados para nuevas demandas nacionales o regionales, anteriormente no atendidas o mal atendidas por la producción en masa. Entre estas destacan las demandas en mercados de alta tecnología, como los de productos electrónicos o los requeridos por el sistema de salud. Prótesis y otros dispositivos biomédicos, y soluciones a problemas personalizados requieren de ciclos de desarrollo eficientes, rápidos y de bajo costo. La personalización de soluciones aumentará así la eficacia en la atención de los problemas de cada paciente.

Originalmente, la manufactura aditiva se desplegó como una tecnología de apoyo al desarrollo de productos, en el que hay fases en las que es necesario materializar un concepto y realizar pruebas y verificaciones. Esta tecnología se fundamenta en la creación de una pieza por adición de material; es muy flexible y permite obtener un producto que puede cambiar y no ser estandarizado hasta que alcance su etapa final de desarrollo, cuando se convierte en un producto de una línea y puede ser producido en masa.

Para satisfacer las demandas de diferentes etapas del desarrollo de un producto se han desarrollado diversas tecnologías de manufactura aditiva. Las exigencias de flexibilidad de fabricación hicieron de las impresoras 3D los instrumentos ideales para atender solicitudes de manufactura avanzada, en la que un alto grado de personalización es exigido para las soluciones más eficientes y capaces de atender una alta dispersión en las exigencias de los mercados.

Este nuevo interés y la constante evolución de las tecnologías de manufactura aditiva (cuyo producto está cada vez más cerca de las especificaciones de producción y cuenta con características físicas y mecánicas cada vez mejores) han desarrollado nuevos nichos y centros de investigación o de manufactura avanzada.

La manufactura basada en la personalización en masa permitiría atender muchas demandas del sistema de salud. Sería posible aplicar herramientas modernas en el desarrollo de productos, estudiar ciclos completos y utilizar equipos de manufactura aditiva para fabricar productos altamente personalizados, capaces de satisfacer las necesidades específicas de los pacientes en una lógica de producción integrada.

Las nuevas demandas están definiendo un paradigma en la manufactura, en el que las iniciativas con mano de obra no calificada experimentarán pérdidas en el valor en sus productos y serán obligadas a negociar el aumento de cantidad a expensas de menores ganancias. Por el contrario, la nueva manufactura empleará más mano de obra especializada, usará alta tecnología y será fuerte en IyD. Permitirá comercializar productos con alto valor agregado, garantizando ganancias superiores a las obtenidas con bienes menos tecnológicos producidos en masa. El desarrollo a escala regional de la nueva manufactura dependerá de la existencia coaliciones internacionales y requerirá de habilidades no siempre disponibles.

Los países líderes en la economía mundial han invertido en la creación de centros especializados en estas nuevas tecnologías como una forma de preparar su mano de obra y favorecer la aparición de esta nueva manufactura, buscando aumentar su participación en el mercado internacional. En este contexto, es preocupante la ausencia casi total de este tipo de iniciativas en América Latina y el Caribe, sobre todo en términos de su participación en la economía mundial y de la autonomía y soberanía de sus países.

## B. Participantes y actividades centrales

El proyecto será realizado inicialmente con cuatro países socios, en los que se encuentran entidades líderes en impresión 3D en la región: el Centro de Tecnología de la Información Renato Archer (CTI) en Brasil, el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) en México, el Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA) en Argentina, y el Departamento de Química de la Universidad Simón Bolívar en Venezuela.

Más allá de esta selección inicial, todos los países interesados de la región son potenciales socios, pudiendo ser incluidos en etapas posteriores, tanto en la próxima etapa de preparación de la versión completa del proyecto como etapas ulteriores, durante su desarrollo.

En los siguientes cuadros, se muestran las actividades centrales para alcanzar los resultados del proyecto, incluyendo el nombre de cada actividad; sus los objetivos, alcance y descripción; la metodología propuesta; los resultados esperados y los productos resultantes de cada actividad.

### CUADRO III.1 ACTIVIDADES CENTRALES PARA ALCANZAR LOS RESULTADOS DEL PROYECTO

Actividad 1	Duración 6 meses
Establecer la infraestructura regional	
Objetivos específicos	
Establecer la infraestructura completa y necesaria para impulsar el desarrollo de la manufactura aditiva orientada a productos de alto valor agregado.	
Alcance/descripción	
Planeamiento de la infraestructura necesaria de acuerdo con la situación de cada socio:	
Supone el establecimiento de todas las condiciones de infraestructura: edificios, máquinas de manufactura aditiva, equipamiento de soporte, insumos, materiales y contratos de entrenamiento y manutención, así como los insumos financieros necesarios en un escenario de operación inicial de tres años.	
Metodología	
Definición de las demandas regionales.	
Especificación de la infraestructura.	
Selección de la localización estratégica de acuerdo con la localización de las demandas regionales.	
Definición de las necesidades tecnológicas para la transferencia de tecnología en investigación y desarrollo.	
Estudio de las condiciones de cada socio y sus necesidades, teniendo en cuenta el tipo de infraestructura adecuada para el cumplimiento de los requisitos del proyecto.	
Modelo de la infraestructura previamente desarrollado en la experiencia del CTI en Brasil y ajustes introducidos según la realidad de cada socio.	
Formación del equipo de implementación multilateral, con participantes de los cuatro países, para la evaluación de los intereses y servicios específicos.	
Resultado	
Proyecto de implantación y procesos de ejecución en marcha.	
Producto: Infraestructura física instalada y en operación	
Actividad 2	Duración 12 meses
Implantar núcleos regionales de impresión 3D.	
Objetivos específicos	
Implantar núcleos regionales basados en la infraestructura de tecnología de impresión 3D adecuados para atender demandas regionales y competir en el mercado mundial.	
Alcance/Descripción	
Implantar núcleos de desarrollo e innovación que utilicen impresión 3D basados en la infraestructura construida en la Actividad 1.	
Metodología	
Preparación para impulsar los núcleos: adaptación en un local disponible, preferentemente centros de investigación o laboratorios en universidades.	
Contratación de personal técnico especializado o con la capacitación necesaria para recibir entrenamiento de especialización.	

## Cuadro III.1 (conclusión)

Resultado	
Núcleos regionales implantados.	
Producto: Informe de implantación de los núcleos regionales de impresión 3D.	
Actividad 3	Duración 6 meses
Preoperación	
Objetivos específicos	
Iniciar actividades piloto de los núcleos basadas en la infraestructura instalada, preparando el personal para operar en sus instalaciones.	
Alcance/Descripción	
Acompañamiento y entrenamiento básico para la operación de la infraestructura.	
Capacitación de personal para que atienda las demandas del sistema de salud con el CTI/MCTI de Brasil como responsable.	
Metodología	
- Definición de los parámetros de funcionamiento de la infraestructura para realizar el monitoreo y la comparación del desempeño de los núcleos instalados.	
- Estructuración de cursos de capacitación y procesos de selección del personal para operar en la infraestructura.	
- Monitorear y hacer el <i>benchmarking</i> de los núcleos a partir de datos y de reuniones entre los coordinadores.	
Resultado	
Núcleos operando y realizando las actividades previstas en el proyecto.	
Producto: Al menos una aplicación de tecnología de impresión 3D que satisfaga una demanda local	
Actividad 4	Duración 12 meses
Operación piloto	
Objetivos específicos	
Garantizar el funcionamiento de los núcleos, colocándolos en situación operativa para atender problemas en el sistema de salud.	
Alcance/descripción	
Atender las demandas del sistema de salud, desarrollando soluciones y fomentando el uso de tecnologías de impresión 3D.	
Difusión de la tecnología y de su disponibilidad.	
Inducción a la formación y posterior apoyo a <i>start-ups</i> .	
Metodología	
Dar respuesta a demandas del sistema de salud y de profesionales del área para ofrecer soluciones basadas en el uso de las tecnologías disponibles en los centros.	
Divulgar las características de las tecnologías disponibles, así como su utilidad para solucionar problemas en el área de salud.	
Establecer vínculos con los demás núcleos establecidos en el proyecto para compartir experiencias en materia de las tecnologías desarrolladas.	
Buscar socios industriales y emprendedores en las universidades o centros vinculados para fomentar el surgimiento de <i>start-ups</i> .	
Resultado	
Núcleos operacionales realizando actividades previstas en el proyecto.	
Producto: Producción de los núcleos conforme a las metas de divulgación y de aplicación de las tecnologías de impresión 3D, con al menos 1500 productos de la aplicación de estas tecnologías fabricados cada año.	

Fuente: Elaboración propia.

Serán necesarias actividades complementarias para la instalación del proyecto en cada uno de los países iniciales o que se sumen al proyecto, obligando al desarrollo de proyectos complementarios y específicos a cada realidad nacional. Los proyectos complementarios serán orientados por las actividades centrales del proyecto principal.

## C. Resultados

Para el cumplimiento de los objetivos, deberán alcanzarse los siguientes resultados:

**CUADRO III.2  
RESULTADOS DEL PROYECTO**

Número	Resultados	Supuestos importantes
1	Capacitación de personal para desarrollar soluciones basadas en alta tecnología y valor agregado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La disponibilidad de mano de obra capacitada es insuficiente o inexistente.</li> <li>- Hay instituciones locales capaces de brindar capacitación, pero requieren actualización, inversiones, infraestructura y personal.</li> <li>- Necesidad de una acción transversal que abarque desde la educación hasta la industria.</li> <li>- Exigencia de continuidad y planificación a largo plazo.</li> </ul>
2	Desarrollo de base de software para la operación de las máquinas de impresión 3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hay fabricantes regionales.</li> <li>- La mano de obra calificada es escasa.</li> <li>- Hay instituciones locales capaces de actuar en el desarrollo e innovación, pero necesitan inversión, infraestructura y personal.</li> </ul>
3	Instalación de infraestructura de desarrollo y aplicación de la tecnología de impresión 3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No hay fabricantes regionales.</li> <li>- Alto costo de adquisición y manutención.</li> <li>- Mano de obra calificada escasa o no disponible.</li> <li>- Hay instituciones locales con experiencia en el desarrollo de este tipo de infraestructura para la transferencia de tecnología.</li> <li>- Necesidad de inversiones de corto y medio plazo.</li> </ul>
4	Instalación de infraestructura de producción de biomateriales para impresión 3D en el sistema de salud	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hay pocos fabricantes regionales.</li> <li>- Infraestructura de alto costo.</li> <li>- Necesidad de mano de obra especializada.</li> <li>- Hay instituciones locales capaces de atender las demandas de capacitación e implantación de la infraestructura.</li> </ul>
5	Desarrollo de aplicaciones de la tecnología de impresión 3D para la solución de problemas en el sistema de salud	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas de salud son diferentes según países y regiones.</li> <li>- Alto costo de la infraestructura y los materiales.</li> <li>- Poca difusión de la tecnología.</li> </ul>
6	América Latina y del Caribe como agente activo en la economía mundial, posicionada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demandas sociales inmediatas pueden no ser atendidas.</li> <li>- Esencial a largo plazo para la independencia y competitividad en el escenario mundial.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

## D. Marco institucional

Brasil cuenta iniciativas en el uso de las tecnologías de impresión 3D en la manufactura y también en la atención de demandas del sistema de salud, que son desarrolladas principalmente en centros de investigación, como el CTI Renato Archer. Este país puede contribuir al desarrollo conjunto de los socios de la región en el uso de esas tecnologías, principalmente para atender las demandas de soluciones a problemas en el sistema de salud, así como aplicaciones generales para productos con alto valor agregado e intensivos en investigación y desarrollo.



También hay centros tecnológicos importantes en otros países de América Latina, resaltando los líderes en este proyecto: el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM, México), el Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA, Argentina) y el Departamento de Química de la Universidad Simón Bolívar (Venezuela). Estos socios en la investigación y la aplicación de tecnologías de impresión 3D, tanto en desarrollo de *software* como máquinas o materiales, cuentan con experiencias importantes para el desarrollo y la aplicación de esta tecnología.

Esta base institucional es adecuada para un proyecto como el presente que busca unir esfuerzos de los socios iniciales y de otros países interesados de la región para instalar núcleos de aplicación de tecnologías de impresión 3D y sus desarrollos, desde la capacitación de personal especializado hasta la consolidación de *start ups*.

## E. Prevalidación

Se constata que existen riesgos:

- Ausencia o reducida disponibilidad de mano de obra capacitada.
- Ausencia de fabricantes regionales de los equipos de impresión 3D.
- Alto costo de manutención y operación de los núcleos.
- Riesgo de discontinuidad debido a la estacionalidad de los recursos financieros.

También hay fortalezas:

- Instituciones capacitadas para desarrollar las actividades necesarias para el establecimiento de los núcleos.
- Demanda de soluciones innovadoras, principalmente en el sistema de salud, en los cuatro países iniciales.
- La nueva tendencia de la manufactura se encuentra en el estado inicial, con los principales países avanzados del mundo implementando sus primeras iniciativas, lo que representa una oportunidad para el posicionamiento de América Latina y del Caribe.
- El alto costo de manutención puede ser visto como un factor positivo en la medida en que puede impulsar a los proveedores de estos servicios a establecer representantes locales.
- Las iniciativas preexistentes, con casos de éxito, desarrolladas en los países iniciales del proyecto los capacitó para transferir tecnología a otros de la región.

A pesar de que existen obstáculos, incluso relacionados a la necesidad de cambios estructurales en políticas sociales, como la educación y la formación media, técnica y superior, hay instituciones capacitadas para proveer los recursos científicos, tecnológicos o humanos para solucionar los problemas. El desarrollo científico y tecnológico en los núcleos a ser instalados por el proyecto también aumentará la autonomía tecnológica de la región en términos de equipos.

Parte importante de los riesgos se deriva de la falta o inestabilidad del financiamiento, debido a problemas económicos, sociales o políticos. La búsqueda de fuentes estables y confiables de financiamiento es así condición esencial para el éxito del proyecto.

En suma, la formación de personal calificado, junto con la disponibilidad regional de la tecnología de impresión 3D favorecerá el surgimiento de proveedores regionales, incluso extranjeros ubicados en la región, para el mantenimiento de equipos, favoreciendo la reducción de costes de mantenimiento. Por otra parte, la existencia de socios calificados para el desarrollo de materiales

podría dar lugar a la producción local de materiales utilizados por los equipos de impresión 3D, proceso que también puede darse a partir de la creación de empresas a ser promovidas por el proyecto.

Por otra parte, las exigencias del sistema de salud en los países iniciales del proyecto indican la existencia de demanda de aplicaciones de tecnología de impresión 3D. Sólo en Brasil, se dan unos 500 pedidos por año, que han resultado en más de 500 soluciones desarrolladas utilizando la infraestructura de la tecnología de impresión 3D.

Además, los cuatro países iniciales tienen aparatos industriales que se beneficiarán de la disponibilidad de la tecnología en el contexto del proyecto y de los núcleos tecnológicos implantados. Asimismo, se impulsará la creación de empresas privadas, como resultado de la transferencia de tecnología y el apoyo ofrecido por los núcleos. En Brasil, la experiencia de contar con un centro de investigación con la tecnología de impresión 3D ha dado como resultado la asistencia a más de 300 empresas por año, con más de 1 000 servicios prestados con el uso de la tecnología de impresión 3D.

Por último, los países iniciales tienen industrias del petróleo y petroquímicas, algunas de cuyas demandas de soluciones tecnológicas podrían ser satisfechas por los centros de excelencia en impresión 3D. En Brasil, Petrobras investiga sobre el uso de esta tecnología para apoyar para la prospección de petróleo y gas; al menos uno de los proyectos en curso sobre este tema es ejecutado en el CTI Renato Archer.

En resumen, aunque hay riesgos, también hay beneficios derivados de las actividades organizadas por el proyecto, y es posible considerarlo como factible.

Hay varias cuestiones técnicas para implementar el trabajo. En términos generales, estas se enumeran en apartado sobre las actividades centrales del proyecto. Seguramente surgirán más actividades a partir de cada actividad central propuesta, las que deberán ser evaluadas caso a caso con base en las demandas de cada núcleo y la realidad de cada localidad.

Un mayor nivel de detalle de las actividades así como su relación con los objetivos y los resultados del proyecto se presenta en la siguiente matriz lógica (cuadro III.3).

**CUADRO III.3**  
**MATRIZ LÓGICA DEL PERFIL DE PROYECTO**

Objetivos	Resultados	Actividades	Supuestos importantes
General: Países de América Latina y el Caribe aplican tecnología de impresión 3D (manufactura aditiva) instalada regionalmente para resolver problemas de forma innovadora	<p>1. Personal habilitado para desarrollar soluciones basadas de alta tecnología y con alto valor agregado.</p> <p>2. Software de base para el funcionamiento de las máquinas de impresión 3D (manufactura aditiva), desarrollado.</p>	<p>1. Establecer una infraestructura regional.</p> <p>2. Establecer una línea de financiamiento para iniciativas a mediano y largo plazo.</p> <p>3. Capacitar, técnica y científicamente, al personal base de mano de obra especializada.</p> <p>4. Implantar núcleos regionales de impresión 3D (manufactura aditiva).</p>	<p>- Nuevo paradigma de la manufactura global requiere de alta tecnología.</p> <p>- Posibilidad de cambiar la base de la manufactura en América Latina y el Caribe.</p> <p>- La fabricación en masa sigue siendo importante.</p> <p>- La salud pública exige soluciones de calidad y bajo costo</p> <p>- Falta de personal con la capacitación mínima para entrar en el área.</p> <p>- Centros regionales deben empezar de cero; no hay iniciativas de este tamaño.</p> <p>- Materias primas, mantenimiento y operación se deben garantizar en el mediano y largo plazo.</p> <p>- La disponibilidad de personal técnico de segundo y tercer grado es esencial.</p>

Cuadro III.3 (conclusión)

Objetivos	Resultados	Actividades	Supuestos importantes
Específico: Problemas en el sistema de salud y de personalización de la manufactura tiene soluciones innovadoras y de alta tecnología desarrolladas con base en el uso de la impresión 3D (manufactura aditiva)	3. Infraestructura y aplicación de la tecnología de impresión 3D (manufactura aditiva), instalados.		- Financiamiento a mediano y largo plazo para la creación de empresas y garantizar la supervivencia.
	4. Infraestructura para la producción de biomateriales para la impresión 3D (manufactura aditiva) en el complejo de la salud, instalado.	1. Desarrollar la ciencia, la tecnología y la innovación en impresión 3D (manufactura aditiva) para ser competitivos globalmente.	- Las demandas de salud deben ser inducidas continuamente. - Buscar socios en la industria y en la sociedad civil es esencial. - Crear programas de incentivos para la ciencia y la tecnología en el campo de diseño de máquinas, y materiales.
	5. Aplicaciones de la tecnología de impresión 3D (manufactura aditiva) para resolver problemas del sistema de salud, desarrollados	1. Fortalecer los mercados internos y regionales. 2. Difundir el conocimiento y las aplicaciones de la tecnología de impresión 3D (manufactura aditiva).	- No hay fabricante regional de esta tecnología. - Alto costo de la infraestructura. - Los problemas de salud pueden ser diferentes. - Calificación de la mano de obra es bajo.
	6. América Latina y el Caribe se posiciona como un agente activo en la nueva economía mundial.	1. Crear masa crítica y con <i>know-how</i> como herramientas de reconocimiento mundial. 2. Atender las demandas regionales y competir mundialmente. 3. Desarrollar <i>start-ups</i> de pequeñas y medianas empresas, capaces de atraer inversiones mundiales.	- Requiere de una continuidad y una planificación a largo plazo. - Demandas sociales inmediatas no pueden ser cumplidas. - Necesidad de una acción transversal desde la educación hasta la industria.

Fuente: Elaboración propia.

## IV. Cadena inversa de aparatos eléctricos y electrónicos

*Manuel Lousada, Teresa Silva Moreno, Victoria Rudin, Carlos A. Hernández, Oscar Espinoza Loayza y José Rocha<sup>4</sup>*

### A. Objetivos

El objetivo general del proyecto es la consolidación tecnológica de la cadena inversa de aparatos eléctricos y electrónicos en América Latina y el Caribe, en particular las tecnologías necesarias para el fortalecimiento de esa cadena, desarrollando sus eslabones, con énfasis en la viabilidad económica y teniendo en cuenta las dimensiones social y ambiental.

Para la reducción del impacto ambiental de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en la etapa posterior al consumo, la viabilidad económica de su recolección y reaprovechamiento, el destino ambientalmente correcto de los desechos sin valor comercial y la generación de empleo e ingresos a lo largo de la cadena inversa (incluyendo a los trabajadores con poca escolaridad), en este perfil de proyecto definen dos objetivos específicos: i) desarrollar tecnologías para la recuperación de materiales de los RAEE y ii) desarrollar procesos de manejo de residuos, con énfasis en la minimización de riesgos, la inclusión social y la gestión.

Estos objetivos hacen referencia a segmentos distintos de la cadena inversa de los RAEE. El primer objetivo se refiere a las etapas en las que los aparatos eléctricos y electrónicos son

---

<sup>4</sup> Manuel Fernando Lousada Soares es socio y gerente de LS-Net. Marcos Batista Cotovia Pimentel es el jefe de la División de análisis y calificación de productos de información electrónica en el Centro de Tecnología de la Información Renato Archer (CTI). José Rocha Andrade da Silva coordina el programa Ambientronic en el CTI. Uca Silva es la investigadora responsable de la Plataforma regional de residuos electrónicos de PC en América Latina y el Caribe (RELAC), implementada por la Corporación de Estudios Sociales y Educación (SUR). Carlos Alberto Hernández es coordinador nacional para Colombia del proyecto E-Waste e industrias de reciclaje sostenibles, Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales (CNPMLTA). María Victoria Rudin Vega es directora ejecutiva de la Asociación Centroamericana para la Economía de la Salud y el Ambiente (ACEPESA). Oscar Espinoza Loayza es director de gestión ambiental en el IPES Promoción del Desarrollo Sostenible.

desensamblados, conformando una variedad de objetos que ya no pueden considerarse productos eléctricos o electrónicos. Ese desensamblaje, que necesita cuidados especiales debido a la presencia de sustancias peligrosas, abre tres alternativas: i) la reutilización, que puede implicar el reacondicionamiento de los objetos, ii) el reciclaje para la extracción de materiales con valor económico significativo o iii) el descarte final, que tiene implicaciones ambientales.

El segundo objetivo se refiere sobre todo a las etapas iniciales de la cadena inversa de los RAEE, en las que los aparatos que han alcanzado el fin de su vida útil son manipulados enteros. Estas etapas incluyen la recolección, transporte y selección de los aparatos, es decir que no involucran a procesos industriales.

## B. Contexto y justificación

Los residuos sólidos son uno de los problemas más importantes en las zonas urbanas, con fuertes impactos en ambientales y en la salud humana y animal. En particular, merecen atención los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que han alcanzado el final de su ciclo de vida, teniendo en cuenta el gran aumento en el uso de esos aparatos, el acortamiento de sus ciclos de vida, la peligrosidad de algunos de sus residuos y el valor económico potencial de los mismos.

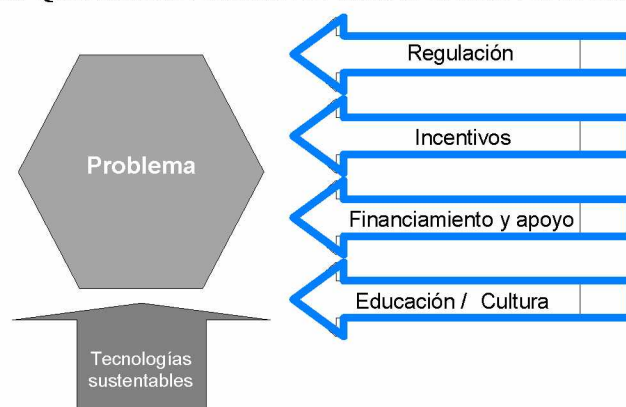
Es casi imposible listar todos los aparatos involucrados aunque se pueden citar varios ejemplos: todos los aparatos de cómputo y los instrumentos electrónicos, aparatos de televisión, radios, teléfonos fijos y móviles, grabadoras de video, cámaras digitales, reproductores de sonido, baterías, gran variedad de juguetes, lámparas fluorescentes, electrodomésticos, y electrónica incorporada en los vehículos.

La peligrosidad proviene de la inclusión, en esos aparatos, de ciertas sustancias que pueden provocar serios daños si son desechadas en forma incorrecta. Los ejemplos más importantes son el plomo (utilizado en los circuitos impresos, tubos de rayos catódicos —CRT— y varios tipos de lámparas), retardantes de llama bromados y éteres difenílicos polibromados (utilizados como agentes antiinflamables en plásticos, circuitos impresos y conectores, cuyo descarte final sin cuidados conduce a la contaminación de las cadenas alimentarias, acarreando disfunciones endócrinas), cadmio (encontrado en baterías y en diversos componentes, tiene efectos nocivos irreversibles en la salud humana y animal) y mercurio (ampliamente utilizado en los más variados tipos de aparatos electrónicos, siendo una sustancia de conocida peligrosidad).

Los avances tecnológicos y la masificación de los aparatos eléctricos y electrónicos han incentivado el aumento del consumo y el descarte precoz de esos productos, generando un gran volumen de RAEE que, en los países de América Latina y el Caribe son desechados en forma incorrecta, generando impactos ambientales indeseables y poniendo en riesgo la salud pública.

En todo el mundo, el modelo de consumo que no se responsabiliza por el impacto ambiental de la totalidad del ciclo de vida de los productos está siendo reemplazado por la búsqueda de la sustentabilidad. Esto implica la recuperación de materiales de los residuos y su reinsertión en el proceso productivo, evitando que se conviertan en pasivos ambientales y minimizando el consumo de recursos naturales no renovables. Para ser viable el reciclaje debe ser económicamente sostenible. El desafío es encontrar soluciones para el problema ambiental generado por el descarte y manejo incorrecto de los aparatos eléctricos y electrónicos en los países de América Latina y el Caribe. La solución a este problema tiene por varias dimensiones (véase el diagrama IV.1).

**DIAGRAMA IV.1**  
**VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**



Fuente: Elaboración propia.

Se entiende por tecnologías para la sustentabilidad a las que contribuyen a la reducción del impacto ambiental del ciclo de vida de los productos, son utilizadas en todas las etapas de ese ciclo (extracción y producción de materias primas, fabricación, uso y post-consumo).

Este proyecto considera únicamente la dimensión tecnológica de la etapa post-consumo, incluyendo todas las tecnologías vinculadas a la cadena inversa de los aparatos eléctricos y electrónicos (desde las tecnologías de recolección, selección, reciclaje y descarte hasta las tecnologías de gestión y para la inclusión social).

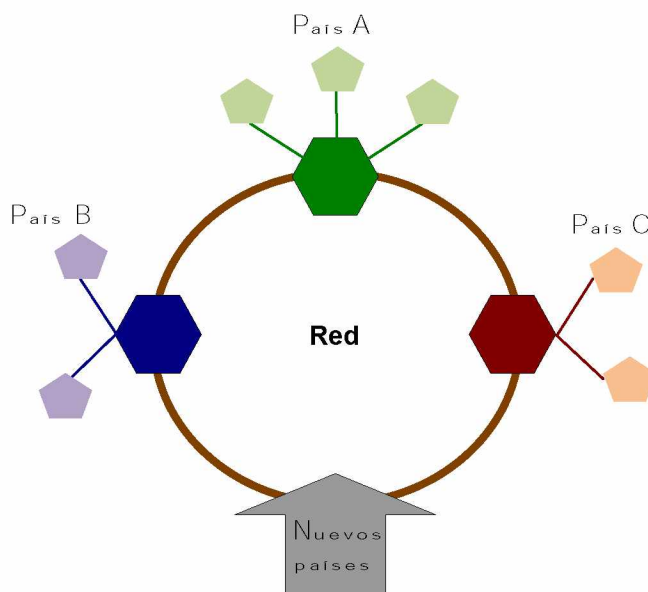
Estos desarrollos son necesarios pero no suficientes para la solución del problema ambiental de los RAEE. Solo la coordinación de instrumentos de apoyo (crédito e incentivos) y regulación (fijación de normas por los poderes públicos) podrá reunir los elementos que permitirán la formulación de una política pública capaz de solucionar el problema.

### C. Impactos y desarrollo futuro

Los beneficios y ventajas de este proyecto se extienden más allá de su etapa de ejecución, constituyendo una plataforma para la conformación de una red latinoamericana y caribeña que permita buscar sinergias y complementariedades en el área de las tecnologías para la cadena inversa de los RAEE.

Teniendo en cuenta la naturaleza intersectorial del tema, es necesario adoptar mecanismos de gestión para la cooperación eficaz entre diferentes segmentos sociales en diversos países. Uno de ellos es que cada país tendrá una única institución como punto focal, la que se articulará con las demás entidades del país que participen del proyecto, así como con los otros puntos focales nacionales (véase el diagrama IV.2). Dada la naturaleza del proyecto, es fundamental que las instituciones focales se asocien rápidamente con entidades tecnológicas y empresariales proveedoras de aparatos eléctricos y electrónicos (fabricantes, importadores o comercio) o interesadas en la utilización de los RAEE.

**DIAGRAMA IV.2  
MODELO DE GESTIÓN**



Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto de gestión es que las acciones realizadas en el marco del proyecto deberán ser monitoreadas por un comité de administración constituido por las entidades que son puntos focales en los países.

Se espera que un impacto del proyecto sea la generación de una cultura de cooperación tecnológica en RAEE en América Latina y el Caribe. Además, se estima que las economías de escala en el proyecto permitirán incrementar las actividades económico en la región asociadas a esa cadena inversa.

## D. Países y entidades participantes

El tema de este proyecto es relevante para todos los países latinoamericanos. Por ese motivo, aunque desde su inicio se podría haber involucrado un gran número de países, por razones operativas se lo limitó a cinco países socios iniciales, reconociendo que otros podrán incorporarse en el futuro. Los países socios son representados por las siguientes entidades: el CTI Renato Archer en Brasil, la Corporación de Estudios Sociales y Educación (SUR) en Chile, el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales (CNPMLTA) en Colombia, la Asociación Centroamericana para la Salud y el Ambiente (ACEPESA) en Costa Rica, y la Promoción del Desarrollo Sostenible (IPES) en el Perú.

Se buscó incluir países que actúan en este tema y que incluso tienen marcos legales establecidos. En lo que se refiere a las entidades involucradas, en cada país se eligieron las que tienen con una visión amplia, sistémica, del problema, y podrían desempeñarse como puntos focales capaces de seleccionar e involucrar a otras instituciones, en particular las de tipo tecnológico.

## E. Resultados, actividades y acciones tecnológicas prioritarias

A continuación se presenta el conjunto de resultados esperados, asociados a los objetivos específicos, cuyos detalles se muestran en la matriz lógica (véase el cuadro IV.1). Los resultados pueden ser de tipo intermedio o final; los primeros se usarán también para caracterizar algunas acciones o definiciones.

**CUADRO IV.1  
MATRIZ LÓGICA**

	Lógica de la intervención	Indicadores comprobables	Fuentes de comprobación	Supuestos importantes
Objetivo general	Consolidación tecnológica de la cadena inversa de aparatos eléctricos y electrónicos en América Latina y el Caribe	Volumen total y porcentual de los RAEE procesados según normas técnicas comunes Número de empresas involucradas, y capacidades, en la cadena inversa de los RAEE	Datos publicados por organismos públicos vinculados a políticas ambientales o a políticas industriales y tecnológicas Datos publicados por asociaciones empresariales y entidades no gubernamentales Noticias publicadas en los medios de comunicación	Políticas públicas (leyes, reglamentos, etc.) de ámbito nacional vigente, que incluya los RAEE Cadena inversa de los RAEE existente, Incentivos adecuados (tributarios, financieros, etc.)
Objetivos específicos	<b>A. Desarrollar tecnologías para la recuperación de materiales de los RAEE</b> – por definirse según los intereses y necesidades de cada país, con la participación de todos, o de subconjuntos, de los países adherentes al proyecto	Caracterizada la actual logística inversa de aparatos eléctricos y electrónicos en los países participantes del proyecto Tecnologías desarrolladas o adaptadas y propiamente documentadas Número de empresas u otras instituciones interesadas en las tecnologías desarrolladas o en desarrollo Datos cuantitativos del uso de las tecnologías desarrolladas o adaptadas	Documentación de la tecnología desarrollada o adaptada Publicaciones asociadas a las tecnologías desarrolladas o adaptadas Fuentes documentales de contratos firmados Datos cuantitativos provistos por las empresas y organismos públicos vinculados a políticas ambientales	Existencia de empresas o entidades públicas interesadas y capacitadas para recibir las tecnologías desarrolladas/adaptadas Existencia de incentivos adecuados que permitan el desarrollo y la transferencia de tecnología a las empresas o entidades públicas interesadas
	<b>B. Desarrollar procesos de manejo de residuos, con énfasis en la minimización de riesgos, inclusión social y gestión</b>	Procesos de recolección, transporte y selección de RAEE desarrollados o adaptados, propiamente documentados y en operación Personas y entidades propiamente capacitadas para operar procesos de recolección y selección	Verificación local de operación Documentación de los procesos desarrollados o adaptados	Políticas públicas (leyes, reglamentos, etc.) implementadas que ayuden en la creación y participación de cooperativas de recolectores Locales disponibles para la realización de actividades de recolección y selección Existencia de empresas interesadas en el uso de materiales recuperados Locales disponibles y apropiados para el descarte final de desechos sin valor comercial



Cuadro IV. 1 (continuación)

	Lógica de la intervención	Indicadores comprobables	Fuentes de comprobación	Supuestos importantes
Resultados estimados	<p><b>Relativos al objetivo específico A</b></p> <p><b>Desarrolladas opciones tecnológicas de reducción del impacto ambiental del descarte de pantallas CRT</b></p> <p>ACTIVIDADES</p> <p>Análisis del estado del arte</p> <p>Identificación de los equipos I+D en cada país</p> <p>Selección de rutas tecnológicas a utilizarse en el desarrollo de procesos</p> <p>Desarrollo de las tecnologías referentes a esas opciones</p> <p><b>Caracterizada la cadena inversa de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, inicialmente en los países socios del proyecto</b></p> <p>ACTIVIDADES</p> <p>Armonización de metodologías utilizadas en los diversos países participantes para permitir el análisis de las respectivas cadenas inversas</p> <p>Análisis, para cada país, de la situación de la cadena inversa</p>	<p>Número de opciones tecnológicas desarrolladas</p> <p>Número de países con cadena inversa de RAEE analizada</p>	<p>Documentación de la validación de las opciones tecnológicas desarrolladas</p> <p>Informe con la descripción de los actores y funcionamiento de la cadena inversa de RAEE, en cada país participante del proyecto</p>	<p>Existencia de entidades de I+D capacitadas para participar</p> <p>Aporte de recursos financieros en forma oportuna</p> <p>Acceso a datos existentes sobre cadena inversa de RAEE en cada país</p> <p>Participación de los organismos oficiales competentes y entidades no gubernamentales activas, incluyendo a las asociaciones</p>
Actividades principales	<p><b>Identificadas las lagunas tecnológicas más importantes para consolidar la cadena inversa de aparatos eléctricos y electrónicos en países socios del proyecto</b></p> <p>ACTIVIDADES</p> <p>Elaboración de un análisis crítico del informe para identificación de las lagunas</p> <p><b>Priorizadas las acciones tecnológicas necesarias para esa consolidación</b></p> <p>ACTIVIDADES</p> <p>Análisis de las lagunas identificadas según criterios de viabilidad técnica de la solución</p> <p>Análisis de las lagunas identificadas bajo la perspectiva del interés económico y social</p> <p>Selección de las lagunas por abordar en forma prioritaria</p> <p><b>Definidos dos subproyectos cooperativos adicionales de I+D, de interés común de las organizaciones tecnológicas de los países participantes del proyecto, a partir de la priorización arriba referida</b></p>	<p>Número y descripción de las lagunas identificadas por país</p> <p>Descripción de las acciones tecnológicas propuestas para llenar las lagunas, por orden de prioridad</p> <p>Subproyectos seleccionados</p> <p>Lista de las entidades participantes de cada subproyecto</p>	<p>Informe con las lagunas identificadas en cada país relacionadas con la temática</p> <p>Informe con la justificación, en términos de relevancia y viabilidad económica y técnica, de la selección de las lagunas por abordar en forma prioritaria</p> <p>Propuestas de ejecución de los subproyectos propiamente estructuradas y detalladas</p>	<p>Conocimiento de las políticas públicas de cada país relacionadas con los RAEE</p> <p>Amplio conocimiento de las implicaciones económicas asociadas a posibles acciones para la superación de las lagunas priorizadas, en el contexto de cada país</p> <p>Participación de los principales <i>stakeholders</i> de cada país participante en el proceso de priorización</p> <p>Existencia de entidades de I+D capacitadas para participar</p>

Cuadro IV. 1 (continuación)

	Lógica de la intervención	Indicadores comprobables	Fuentes de comprobación	Supuestos importantes
Actividades principales	<p>ACTIVIDADES</p> <p>Identificación de las entidades participantes en cada país</p> <p>Elaboración de subproyectos cooperativos para el desarrollo de las soluciones tecnológicas a las lagunas priorizadas</p> <p><b>Desarrolladas tecnologías de interés del medio empresaria y de los gobiernos, referentes los dos subproyectos arriba referidos, para el cumplimiento de políticas ambientales de los países participantes del proyecto</b></p> <p>ACTIVIDADES</p> <p>Análisis del estado del arte</p> <p>Identificación de los equipos de I+D en cada país</p> <p>Selección de rutas tecnológicas para el desarrollo de procesos</p> <p>Desarrollo de las tecnologías referentes a esas opciones</p> <p><b>Recursos humanos capacitados</b></p> <p>ACTIVIDADES</p> <p>Cursos específicos sobre temas asociados a las soluciones técnicas</p> <p>Intercambio de investigadores y técnicos entre entidades de los diversos países</p> <p>Uso del proyecto como oportunidad de participación cruzada de expertos en actividades de I+D cooperativas</p> <p>Difusión de una cultura de normalización técnica, teniendo en cuenta la existencia de normas nacionales e internacionales</p> <p>Producción de textos didácticos y contenidos para la enseñanza a distancia</p> <p>Seminarios y talleres abiertos a todos los países adherentes (incluyendo los segmentos empresarial y municipal), en temas por definirse</p> <p><b>Resultados y oportunidades derivadas de los subproyectos ampliamente difundidos</b></p> <p>ACTIVIDADES</p> <p>Diseñar una estrategia de difusión, identificando los principales públicos meta y medios de comunicación</p> <p>Implementar la estrategia</p>	<p>Tecnologías desarrolladas y disponibles para el uso</p> <p>Número de cursos realizados</p> <p>Número de investigadores y técnicos participantes del intercambio</p> <p>Número de eventos o iniciativas en las cuales se incluya como objetivo la difusión de una cultura de normalización técnica</p> <p>Número de textos didácticos publicados</p> <p>Número de seminarios y talleres realizados</p> <p>Estrategia de difusión elaborada</p>	<p>Documentación de los dos subproyectos</p> <p>Resúmenes, locales y participantes de los cursos realizados</p> <p>Identificación de los investigadores y técnicos participantes del intercambio, con entidades de origen, destino y fechas</p> <p>Textos didácticos producidos, en los diversos medios</p> <p>Programación, locales, fechas y participantes de los seminarios y talleres realizados</p> <p>Acciones de difusión efectuadas y documentadas</p>	<p>Existencia de entidades de I+D capacitadas para participar</p> <p>Aporte de recursos financieros en forma oportuna</p> <p>Soporte financiero adecuado</p> <p>Existencia de entidades interesadas en los medios científico y tecnológico, empresarial y gubernamental</p> <p>Interés de organismos gubernamentales y entidades de clase en la difusión de los resultados de los subproyectos desarrollados</p> <p>Apoyo financiero adecuado</p>

Cuadro IV.1 (conclusión)

	Lógica de la intervención	Indicadores comprobables	Fuentes de comprobación	Supuestos importantes
Actividades principales	<b>Relativos al objetivo específico B</b>			
	<b>Capacitadas entidades para la recolección, selección y transporte de los RAEE, con normas técnicas comunes</b>	Número de personas entrenadas en las entidades capacitadas Número de cursos e entrenamientos efectuados	Informe de los eventos de capacitación, con lista de participantes, local y fecha Productos didácticos desarrollados	Capacidad de movilización de las entidades involucradas en la recolección, selección y transporte de RAEE
	ACTIVIDADES Entrenamiento de recursos humanos, en los diversos niveles Preparación de material didáctico Cursos de formación de formadores	Número de productos didácticos producidos		
	<b>Identificadas las oportunidades tecnológicas para la inclusión de operadores en la cadena inversa formal de aparatos eléctricos y electrónicos, con énfasis en la recolección, selección y transporte, en países socios del proyecto</b>	Número de oportunidades identificadas para la inclusión de operadores en la cadena inversa formal	Informe con la descripción de las oportunidades identificadas, propiamente caracterizadas.	Capacidad de movilización de las entidades involucradas en la recolección, selección y transporte de RAEE; Interés de los gobiernos y empresas en buscar oportunidades para la inclusión del sector informal en la cadena inversa formal
	ACTIVIDADES Análisis del informe producido con relación al objetivo específico 1, buscando identificar oportunidades de utilización de mano de obra en procesos de recolección y selección			
	<b>Desarrollados sistemas de gestión considerando los aspectos de salud, seguridad, medio ambiente y trazabilidad (balance de masa) de los RAEE</b>	Número de sistemas de gestión desarrollados	Documentación de los sistemas de gestión desarrollados, con referencia a las normas técnicas utilizadas	Capacidad de movilización de las entidades involucradas en la recolección, selección y transporte de RAEE
	ACTIVIDADES Uso de normas técnicas internacionales para la definición de los procesos de gestión asociados a las actividades de recolección, selección y transporte			

Fuente: Elaboración propia.

Aunque las acciones de cooperación se definirán con base en el análisis de la situación de la cadena inversa de RAEE en cada país adherente, es posible identificar ejemplos de áreas en las que podrán desarrollarse esas acciones.

**Ejemplos de tecnologías de recuperación de materiales**, entre las cuales se deberá elegir opciones poco intensivas en capital para hacer viable la participación de empresas de menor tamaño en la cadena inversa:

- Recuperación de materiales en pilas y baterías.
- Recuperación de metales de placas de circuitos impresos.
- Metodologías para la identificación y separación de materiales poliméricos.

**Ejemplos de procesos de operación de la cadena inversa** a desarrollarse para minimizar los riesgos para los operadores, permitiendo la participación de personas con baja escolaridad:

- Procesos seguros de recolección, selección y almacenamiento.
- Metodología para el reconocimiento y valoración de los materiales para permitir su correcto destino en el mercado de productos reciclados.
- Procesos seguros de desensamblaje y descarte de desechos.

## F. Cronograma

En el cuadro IV.2 muestran los eventos relevantes asociados a la ejecución del proyecto. Las acciones se desarrollarán en un plazo de 3 (tres) años.

**CUADRO IV.2  
CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO**

	Año 1	Año 2	Año 3
Identificación de los equipos I+D subproyecto CRT	■		
Estado del arte subproyecto CRT	■		
Selección de rutas subproyecto CRT	■		
Desarrollo de tecnología CRT	■	■	■
Caracterización de cadenas inversas/país	■		
Identificación de lagunas	■		
Priorización de lagunas	■		
Definición de 2 subproyectos adicionales	■		
Desarrollo de los 2 subproyectos	■	■	■
Difusión de los resultados	■		
Formación/ capacitación de RH	■	■	■
Capacitación de entidades recolección, selección y transporte	■	■	■
Identificación oportunidades tecnológicas inclusión de operadores	■		
Desarrollo de sistemas de gestión		■	■

Fuente: Elaboración propia.



## V. Energías eólica y solar fotovoltaica en generación distribuida

*Gonzalo Bravo, Nicola Borregaard,  
Jorge M. Huacuz y Marianne Schaper*<sup>5</sup>

### A. Objetivos

El objetivo superior del proyecto es que los países de América Latina y del Caribe transiten por senderos de crecimiento económico más limpios e inclusivos, y dispongan de autonomía tecnológica que permita la transformación de su matriz energética con creciente participación de las energías renovables no convencionales y una fuerte reducción de las energías fósiles. En este marco, se busca apoyar el desarrollo tecnológico para el desarrollo de las industrias solar fotovoltaica y eólica locales, y la implementación del modelo de generación eléctrica distribuida en los países de la región.

Los objetivos específicos a alcanzar son:

- Apoyar la creación de capacidades tecnológicas para el desarrollo de la industria regional de energías renovables no convencionales como base para la implementación del modelo de generación eléctrica distribuida.
- Impulsar el desarrollo tecnológico y creación de capacidades para la identificación, diseño y fabricación de equipos de energía solar fotovoltaica y eólica destinados al mercado de la generación eléctrica distribuida.

---

<sup>5</sup> Gonzalo Bravo profesor e investigador del Instituto de Economía Energética de la Fundación Bariloche, docente del posgrado en planificación y economía de la energía de la Universidad Nacional del Comahue y profesor de grado en la ingeniería ambiental, Universidad Nacional de Río Negro. Nicola Borregaard es gerenta de la Unidad de energía y cambio climático de la Fundación Chile. Jorge M. Huacuz es investigador *senior* del Instituto de Investigaciones Eléctricas de México. Marianne Schaper es consultora internacional en temas de desarrollo sostenible, comercio internacional y energía.

- Desarrollar las tecnologías y capacidades empresariales para la formulación y desarrollo y puesta en marcha de proyectos de generación eléctrica distribuida, incluyendo la identificación de elementos habilitantes de contexto necesarios.
- Aportar elementos técnicos, organizativos y de coordinación para la consolidación institucional y el desarrollo del marco regulatorio de la generación eléctrica distribuida.

## B. Tecnologías

### 1. La tecnología solar fotovoltaica

Es posible obtener energía eléctrica directamente de la luz del sol por medio de módulos fotovoltaicos constituidos por un conjunto de celdas (pequeños dispositivos hechos de materiales cuyos átomos tienen la propiedad de liberar electrones bajo la influencia de los rayos solares). Los electrones libres producen una corriente eléctrica cuando los polos positivo y negativo de las celdas se unen por medio de un material conductor, o bien se produce un voltaje cuando el circuito permanece abierto. A su vez, los módulos fotovoltaicos pueden conectarse entre sí en arreglos en serie o paralelo, según se requiera mayor voltaje o mayor corriente, para integrar paneles fotovoltaicos; estos a su vez pueden interconectarse para integrar arreglos. La naturaleza modular de esta tecnología permite alimentar pequeñas cargas eléctricas, de unos cuantos vatios (W), como en el caso de aplicaciones domiciliarias, o construir plantas de generación de miles de vatios (kW) o grandes centrales generadoras de millones de vatios (MW).

La corriente eléctrica generada por las celdas fotovoltaicas es corriente continua. Si se necesita corriente alterna, como la que se obtiene de la red eléctrica, habrá que añadir al sistema un equipo electrónico que transforme la corriente continua en corriente alterna. Estos inversores o convertidores CC/CA permiten a los sistemas fotovoltaicos interconectarse a la red.

Actualmente existen varios tipos de celdas fotovoltaicas en el mercado. Las de silicio cristalino han alcanzado mayor madurez y confiabilidad, y consecuentemente mayor penetración en el mercado. Les siguen las de silicio amorfo y las de película delgada de diversos materiales. Algunas empresas han empezado a comercializar tecnologías fotovoltaicas de alta concentración, que buscan reducir el consumo del costoso material con que se fabrican las celdas mediante el uso de lentes que concentran la radiación solar en celdas muy pequeñas; sin embargo, tienen el inconveniente de requerir mecanismos para seguir de forma automática los movimientos del sol. En algunos laboratorios, se desarrollan nuevos tipos de celdas fotovoltaicas utilizando materiales orgánicos y otros materiales avanzados; unos buscan disminuir los costos de los procesos de fabricación, otros tienen como objetivo lograr alta eficiencia. Estos productos aún están lejos de llegar al mercado.

Desde el punto de vista de sus aplicaciones, los sistemas fotovoltaicos pueden instalarse conectados a red o fuera de la red, como es el caso de la electrificación de comunidades rurales en sitios remotos. En este segundo caso, es necesario utilizar baterías para almacenar electricidad para el servicio nocturno o en días nublados. En un modelo de generación distribuida conectada a la red, la instalación solar evacua la electricidad generada a la red y no se requiere almacenamiento de energía, ya que la continuidad del suministro eléctrico está asegurada por la propia red. Así, cuando los niveles de la radiación solar son altos, el generador fotovoltaico genera energía eléctrica para alimentar, total o parcialmente según su potencia, las necesidades de, por ejemplo, un edificio. Si hay excedentes, son inyectados a la red eléctrica. Durante la noche o en situaciones climáticas adversas, la energía eléctrica es tomada de la red.

El espectacular despliegue tecnológico y la masificación de la industria solar fotovoltaica en los últimos años se ha traducido en que sea cada vez más competitiva respecto de las fuentes convencionales, llegando a lo que se conoce como *grid-parity* en los casos donde el costo de generación convencional es muy alto y la electricidad fotovoltaica tiene buenos niveles de eficiencia.

Bajo un esquema de generación distribuida en que se producen excedentes, hay un beneficio adicional cuando el propietario puede venderlos a la red eléctrica

## 2. La tecnología eólica

Las turbinas eólicas o aerogeneradores son equipos electromecánicos que producen electricidad a partir de la fuerza del viento. Por lo general, están constituidos por un rotor aerodinámico que gira por la acción del viento. Este movimiento rotatorio se transmite a un equipo llamado generador que produce electricidad de igual forma a como lo hacen los generadores termoeléctricos, hidroeléctricos o nucleoelectrónicos. Los aerogeneradores pueden ser de eje horizontal o vertical, según la orientación de la flecha que transmite el movimiento del rotor al generador. También los hay con caja de transmisión, que incrementa la velocidad de rotación que se transmite al generador, o de transmisión directa, sin caja, en los que el generador eléctrico se acopla directamente al rotor aerodinámico.

Este principio tecnológico puede aplicarse para construir aerogeneradores de distintos tamaños y capacidades, desde unos cuantos W hasta varios MW por unidad. A su vez, las aplicaciones pueden ir desde un solo aerogenerador pequeño, por ejemplo en domicilios o granjas, hasta grandes parques constituidos por cientos de máquinas. Los parques eólicos pueden ser instalados en tierra firme o mar adentro.

Los aerogeneradores de última generación presentan adelantos sustanciales respecto de los primeros modelos, lo que ha permitido reducir los costos que hacían difícil que compitieran con otros tipos de generación eléctrica; en el mercado hay equipos cada vez más potentes. Desde el punto de vista tecnológico, los adelantos en diseño han permitido reducir las partes con fricción (rodamientos y engranajes), incorporar modernos sistemas de control para aumentar la eficiencia de la operación y proteger las máquinas ante las variables condiciones del viento. A esto se agregan los diseños de palas con materiales más ligeros, más resistentes y que emiten menos ruido, así como palas inteligentes que se adecuan automáticamente a la dirección y potencia del viento. Todo lo anterior, junto al uso de nuevos dispositivos electrónicos para ajustar cantidad de la electricidad producida a los requerimientos de la red eléctrica o de aplicaciones específicas, palas de mayor tamaño para incrementar la potencia de las máquinas, e innovaciones en los equipos eléctricos y sistemas de control, se ha traducido en una mayor eficiencia y menores costos de generación.

## 3. La generación distribuida

En la mayoría de los países en desarrollo prevalecen las plantas de generación eléctrica situadas a grandes distancias de los centros de consumo. Esto implica dotar al sistema de una compleja infraestructura que permita transportar la energía y llevarla a los usuarios para su consumo.

Frente a este modelo tradicional, implantado en las últimas décadas, surge un modelo alternativo de generación distribuida, donde la generación se encuentra en el punto de consumo o muy cerca de él. Implica la existencia de una central de generación pequeña conectada a la red de distribución y localizada próxima al consumidor.

Este nuevo modelo de generación distribuida es posible gracias a que tecnologías habilitadoras, como la informática y la electrónica de potencia y control, han alcanzado plena madurez y muy bajos costos. Además, el avance en los dispositivos de generación eléctrica con energías renovables, de naturaleza distribuida, y el surgimiento del concepto de redes inteligentes, apuntan hacia un nuevo paradigma eléctrico, más amigable con el medio ambiente y más económico. La incorporación de la medición neta (*net metering*) permite volcar pequeñas fracciones de energía renovable no convencional en la red. Estos conceptos están ampliamente difundidos en países desarrollados con sistemas eléctricos más maduros.

El entorno y alcance de este concepto —que comprendería también a los pequeños sistemas de redes eléctricas (*mini-grids*)— debe estudiarse con precisión en América Latina y el Caribe, ya que su viabilidad depende de las características específicas del sistema eléctrico mayor en el que se inserta.



Esas características incluyen además de elementos técnicos, la dinámica organizativa y de funcionamiento específicos de cada sistema eléctrico. La complementariedad entre el modelo tradicional y el de generación distribuida será la base para el desarrollo de los futuros sistemas eléctricos de potencia.

## C. Contexto

### 1. Tendencias mundiales

Si bien la experiencia de una creciente participación de las energías renovables no convencionales en la generación eléctrica se ha dado principalmente en países desarrollados, como Alemania, España o Dinamarca, algunos países en desarrollo, como China, la India y Brasil, también están implementando estrategias para un cambio estructural en ese sentido.

El caso más ilustrativo es China que ha logrado en pocos años ser el principal fabricante de turbinas eólicas y módulos fotovoltaicos del mundo, superando a los países europeos. La fuerte orientación hacia el mercado de exportación ha sido complementada recientemente por el incipiente desarrollo del mercado nacional. Muchas grandes empresas de energía solar fotovoltaica enfrentan una situación económica crítica por los cambios en las políticas de apoyo en los países europeos, con la consecuencia de no poder recuperar la inversión realizada, incluso poniendo en el mercado sus productos a precios muy bajos.

De acuerdo con el informe anual sobre energías renovables REN21 (2012), en 2011 la energía eólica y la solar fotovoltaica fueron las que más incrementaron la capacidad del sector eléctrico mundial, con 40% y 30% de la nueva capacidad respectivamente, seguidas por la hidroeléctrica con casi 25%.

La capacidad de generación eléctrica a partir de energía eólica tuvo un crecimiento promedio anual de 25% en 2001-2011. En el 2011, la mayor parte de la instalación de capacidad se realizó en los países en desarrollo y mercados emergentes, impulsada principalmente por China que representó casi la mitad del mercado global. El tamaño promedio de las turbinas eólicas siguió aumentando en 2011 con el lanzamiento de turbinas de hasta 5 MW y diseños de accionamiento directo por algunos fabricantes, capturando hasta 20% del mercado global. La tendencia en la industria eólica apunta a tener turbinas eólicas con capacidad de 7,5 y 10 MW en los próximos cinco años.

Este movimiento hacia la construcción de aerogeneradores tamaño cada vez mayor por los líderes tecnológicos ha creado un vacío en la oferta de aerogeneradores de pequeña y mediana capacidad (desde unos cuantos W hasta varias decenas o cientos de kW), lo que abre una oportunidad para la generación local de tecnología en países de menor desarrollo, como los de la región. Los pequeños y medianos aerogeneradores constituyen un elemento importante dentro del concepto de generación distribuida y mini-redes eléctricas.

Según la misma fuente, la energía solar fotovoltaica ha sido la tecnología de generación más dinámica en los últimos años, registrando un crecimiento anual promedio de 44% entre 2001 y 2011, cuando la capacidad instalada fue 48 veces la capacidad instalada diez años antes; en el quinquenio 2006-2011, la tasa media de crecimiento anual fue superior a 58%.

Hay una rápida creciente transición del actual modelo de generación eléctrica centralizado hacia un modelo de generación distribuida. Ello apunta hacia un nuevo paradigma eléctrico más amigable con el medio ambiente, porque no genera emisiones de CO<sub>2</sub>; más inclusivo, porque implica la existencia de un gran número de pequeños productores, y más económico porque reduce las pérdidas en la transmisión.

En efecto, el rol de la generación distribuida en el mercado eléctrico global y su vínculo con el concepto de redes inteligentes (*smart grids*) es cada vez más importante. En países como Alemania, que es el mayor mercado de energía solar del mundo, la generación eléctrica está dominada por la generación

distribuida: 80% de la capacidad solar fotovoltaica está instalada en los techos de casas y edificios. Este buen resultado ha sido alcanzado gracias a la generación distribuida, no la generación a gran escala. Lo mismo ha ocurrido en países como España, Estados Unidos e incluso Japón. El diseño de contratos simples, estandarizados y justos entre las empresas eléctricas y los generadores de energía ha sido crucial para facilitar la implementación de esta estrategia que privilegia la energía renovable local.

## 2. La estrategia de China

En menos de diez años, China logró ponerse a la cabeza de las industrias solar fotovoltaica y eólica a nivel mundial. Esto fue consecuencia enfrentar un doble desafío: sus reservas de petróleo y gas que podrían agotarse en dos décadas con el actual ritmo de extracción y consumo y su cada vez mayor dependencia del uso de carbón (responsable de 75% de la producción de energía en el país), el que es una fuente de contaminación y de emisiones de CO<sub>2</sub>. De ahí que el gobierno se propuso abordar este desafío con una estrategia de desarrollo de industrias nacionales de energías renovables no convencionales, entre ellas la solar y la eólica.

Inicialmente el país dependía fuertemente de los equipos y tecnologías importados para los sectores eólico y solar, por lo que el gobierno se impuso el objetivo de desarrollar una industria capaz de responder enteramente a las demandas nacionales. Para ello se implementó una estrategia deliberada, promoviendo una gran cantidad de leyes, regulaciones y medidas que establecieron requisitos de contenido local para todo proyecto de energía renovable. Ello no solo incluía dar preferencia en las compras públicas a los equipos producidos por empresas y de propiedad intelectual chinas, sino también subsidios, rebajas tributarias, devoluciones del IVA, subsidios a la I+D, y otros incentivos para la promoción de la energía renovable.

Si bien se han privilegiado los incentivos por sobre las medidas de comando y control para influir en el comportamiento de las empresas, el papel de Estado sigue siendo fuerte. Las prioridades y metas establecidas en los planes y las directivas gubernamentales han sido una poderosa guía para las empresas. Se implementaron medidas que impulsaron fuertemente el desarrollo de la industria de renovables, estimulando directa o indirectamente la demanda de equipos fabricados en China.

En el 2002 se promulgó la Ley de Compras Públicas que se complementó con un requisito de contenido local de 70% para la energía eólica en 2005. Esta medida tuvo como resultado el aumento en la demanda de equipos y componentes eólicos de origen nacional y la instalación de grandes empresas manufactureras eólicas internacionales en el país. Incluso se atribuye a esta medida el origen del desarrollo de toda la cadena de valor de la industria eólica china.

En el 2006, tres ministerios lanzaron conjuntamente las Medidas Provisionales para la Acreditación de Productos de Innovación Local (NIIP), que estipulaban que solo productos fabricados con base en propiedad intelectual local podían calificar para compras públicas y participar en proyectos nacionales clave con acceso a financiamiento público. Dada la dificultad para las empresas extranjeras cumplieran con el requisito de propiedad intelectual local, el programa también tuvo como resultado privilegiar a los fabricantes nacionales de equipos renovables y estimular la innovación y el desarrollo tecnológico locales.

En el 2009, la Ley de Energía Renovable exigió a las empresas eléctricas la compra total de la energía generada a partir de las fuentes renovables. Con ello aumentó la demanda de equipos de fabricación nacional y se estimuló la entrada de nuevas empresas en el negocio de las energías renovables.

Inicialmente las empresas del país producían los componentes de baja tecnología en las cadenas de valor de las industrias solar y eólica. Sin embargo, mediante una estrategia de alianzas con empresas europeas lograron adquirir tecnologías. La creación de capacidades se manejó mediante estadias de técnicos y profesionales chinos en el extranjero y acuerdos de intercambio de conocimientos con socios estratégicos. Por ejemplo, la empresa china Goldwind generó alianzas con dos empresas líderes europeas: REpower y Vensys. A cambio de buenos contratos de manufactura,

Goldwind se aseguró de que sus ingenieros aprendieran a diseñar turbinas eólicas. El proceso duró una década hasta que, en el 2008, la empresa pudo recaudar los fondos que necesitaba (53 millones de dólares) para adquirir una participación de 70% en Vensys. Este acuerdo le dio acceso preferencial a un activo muy valioso: la propiedad intelectual de la compañía. Con ello Goldwind dio el salto para posicionarse en los eslabones superiores de la cadena de valor mediante una mayor capacidad manufacturera y la adquisición de conocimiento sofisticado. Estrategias similares utilizaron otras empresas chinas, como Sinovel y Suntech (Knight, 2012).

Uno de los resultados fue que, en los últimos años, se generó un gran dinamismo en las inversiones en energía eólica. En el 2007, alrededor de 25 empresas producían turbinas eólicas; en 2009 el número había crecido a más de 100. Si bien hubo que superar una enorme brecha tecnológica y de calidad respecto de los proveedores extranjeros, los incentivos gubernamentales fueron un apoyo fundamental para que las empresas chinas lograran cerrar esa brecha, adaptando y absorbiendo tecnología extranjera y reduciendo su dependencia de componentes importados.

Las medidas de promoción resultaron en una gran afluencia de inversiones a la industria fotovoltaica y China se convirtió, en 2008, en el mayor productor mundial de paneles solares, con alrededor de un tercio del mercado. Aunque el país consume poco de su producción de paneles solares FV, las inversiones en el sector le han permitido ubicarse a la cabeza de la producción mundial. Prácticamente todos los paneles FV son exportados; por ello, son también pocos los sistemas solares conectados a la red eléctrica en China. Por ello en 2009, el gobierno lanzó un esfuerzo mayor para establecer proyectos solares nuevos conectados a la red. Así se crea y fortalece el mercado interno para los paneles solares FV y se generan nuevas fuentes renovables para la generación eléctrica. En conformidad con el proyecto de demostración *Golden Sun*, el gobierno otorga un subsidio de hasta 50% a proyectos solares que califican para la conexión a la red.

### 3. Tendencias en la región

La industria de la energía renovable no convencional comienza a ser una realidad en la región, especialmente en Brasil en la industria eólica y, desde hace largo tiempo, en biocombustibles. Este país es uno de los pocos donde se puede hablar de un esquema de promoción en el sentido de un conjunto de instrumentos complementarios ajustados en función de la experiencia. Junto con República Dominicana, Brasil es el único país en la región que cuenta con políticas que promueven el financiamiento de energías renovables no convencionales (Climascope, 2012). Por ejemplo, gracias a una serie de acciones del gobierno, la existencia de solo un fabricante de turbinas eólicas en el 2008 dio paso a un gran número de empresas que operan en el mercado nacional. Según la Asociación Brasileña de Energía Eólica (ABEE), en 2013 existían 13 fabricantes de turbinas eólicas, a lo que se sumaban seis fábricas de torres eólicas en funcionamiento, una en construcción y varias empresas brasileñas fabricantes de palas.

Uno de los programas que impulsó el aumento de la participación de la energía eléctrica producida a partir de fuentes de energías renovables en el Sistema Eléctrico Integrado Nacional (SIN), especialmente eólica, fue el Programa de Incentivo a las Fuentes Alternativas de Energía Eléctrica (PROINFA) del 2004. Eletrobrás fue el agente ejecutor, con la celebración de contratos de compraventa de energía.

Históricamente el patrón de producción de energía en Brasil ha estado basado en una estructura de monopolios públicos (Petrobrás en hidrocarburos y Eletrobrás en electricidad). Esta estructura ha estimulado principalmente grandes instalaciones de producción centralizadas y sistemas de transporte y distribución de energía. Según OLADE, el PROINFA, al promover el aumento de la participación de las energías renovables no convencionales, ha contribuido a que los sistemas de generación de energía distribuida de menor envergadura tengan un alto potencial para aportar directamente al desarrollo social local y regional e incorporar un mayor número de pequeños productores de energía.

Por otra parte, el Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES) desarrolló una política de requisito de contenido local para las empresas eólicas, según el cual el acceso al financiamiento para la ejecución de un proyecto solo se autoriza si al menos 60% del equipamiento que se adquiere es de origen nacional y que las empresas estén operando una fábrica o planta de ensamblaje en Brasil (<http://www.evwind.com/2012>). Dado que el BNDES es la única fuente de préstamos para turbinas eólicas, algunos proveedores de estos equipos que se han establecido en el país deberán efectuar inversiones importantes para cumplir con este requisito.

Países como México y Argentina también impulsan cadenas de valor completas en el campo de las tecnologías de energía renovable no convencional, desde instituciones financieras y desarrollo local de equipos hasta los diseñadores y ejecutores de proyectos.

En los últimos 10 años, los principales mecanismos de promoción han sido los incentivos impositivos o fiscales. A principios de los años 1990 Brasil, Argentina y Ecuador, seguidos más tarde por Nicaragua, Perú, Panamá, Honduras y Guatemala, implementaron tarifas tipo *feed in*, con relativo éxito, y nunca tuvieron mandatos obligatorios respecto de renovables no convencionales en sus matrices eléctricas.

Con la segunda ola de reformas en el sector eléctrico en 2004, comienzan a implementarse subastas para contratos a largo plazo (Brasil) o pagos por capacidad (Colombia), aunque la única energía renovable no convencional que se beneficiaría fue la pequeña hidroeléctrica. Entre los instrumentos de política de promoción prevalece la implementación de contratos de largo plazo (15 a 25 años) para incorporar las energías renovables no convencionales en la generación eléctrica, como se da en Argentina, Brasil, Perú y Uruguay.

Hacia el 2008 el esquema de subastas pasó a ser el principal elemento promocional. Este esquema brinda una forma indirecta de identificación del costo de generación, buscando alcanzar un monto adecuado de inversión y reducir la aversión al riesgo mediante contratos a largo plazo. Argentina y Uruguay han implementado subastas específicas por fuente, para atraer inversión en generación. Chile, en cambio, ha optado por un esquema de cuotas fijadas a los generadores, no orientado a una tecnología específica; su resultado es incierto, con un limitado número de proyectos de implementación a corto plazo, con respecto a lo que requeriría el objetivo fijado (Batlle y Barroso, 2011).

Guatemala, República Dominicana, Panamá, Honduras, México y El Salvador también están transitando la experiencia de subastas para energías renovables. Nicaragua está evaluando pasar de contratos bilaterales a subastas públicas para lograr mayor transparencia y menores precios de la generación a incorporar. Estos serían los países que poseen un apoyo explícito además de crédito blando, crédito e incentivos fiscales, o fondos específicos para impulsar la inversión en generación renovable no convencional en áreas aisladas.

Según la Comisión de Integración Energética Regional (CIER, grupo de trabajo 08), en Chile se estableció que, a partir de 2010, las empresas distribuidoras deben cubrir 5% del abastecimiento con energías renovables no convencionales o pagar una multa; Ecuador ha establecido precios especiales por tipo de tecnología. En los dos últimos años, Uruguay ha incrementado su capacidad de generación por la participación de empresas privadas con proyectos de energías renovables no convencionales (eólica y biomasa).

Argentina lanzó en el 2009 el Programa Generación Renovable (GenRen), desarrollado por el Ministerio de Planificación mediante la Secretaría de Energía y su ejecutor, la empresa pública Energía Argentina S.A. (ENARSA), con el propósito de incentivar la inversión en fuentes alternativas de generación eléctrica. El sistema funciona mediante licitaciones o subastas a cargo de ENARSA para la compra de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, y el propósito es cumplir con el objetivo de la Ley 26.190, que consiste en lograr que 8% de la matriz energética nacional provenga de fuentes renovables en el 2016.

En un principio, la licitación apuntaba a adjudicar la instalación de 500 MW de potencia a partir de fuentes de energía renovables. Sin embargo, el gran número de propuestas recibidas —se

presentaron ofertas privadas por más de 1.400 MW— obligó a ENARSA a adjudicar la construcción de 895 MW provenientes de parques eólicos, plantas fotovoltaicas, biocombustibles y pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, y principalmente de parques eólicos. Esta energía generada sería entregada por ENARSA al mercado eléctrico argentino mediante de contratos de compra de energía por un plazo de 15 años.

La iniciativa despertó buenas expectativas entre los fabricantes de tecnologías renovables; incluso grandes empresas eólicas, como la danesa Vestas, decidieron incrementar su presencia en la Argentina. Los emprendimientos anunciaban una gran cantidad de inversiones en el área de generación de energía, un segmento que, debido a los bajos precios de las tarifas residenciales de electricidad, había recibido pocas inversiones privadas en los últimos 10 años.

Sin embargo, estas políticas han tenido un éxito relativo. La falta de financiamiento y los bajos precios de la energía en el mercado doméstico demoraron el inicio de los emprendimientos de producción eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos y energía eólica. Dado que la construcción de un parque eólico de 50 MW, que es el tamaño estándar que exige el GenRen, demanda más de 100 millones de dólares, y la limitada disponibilidad de líneas de financiamiento, las adjudicatarias deberían financiar, en muchos casos, las obras con recursos y financiamiento propios. Por ello, dos años después de la luz verde inicial del programa, se habían concretado menos de 10% de los proyectos anunciados: de los 895 MW adjudicados por la primera ronda del programa, sólo se construyeron 55 MW.

El GenRen exige además la permanente expansión del Sistema Argentino de Interconexión, para que las provincias puedan ofrecer sus productos energéticos primarios en igualdad de condiciones a partir del desarrollo de proyectos de generación eléctrica innovadores.

El riesgo de no contar con la infraestructura necesaria para la interconexión es un gran problema, que no se da solo en Argentina. Por ejemplo, Brasil tuvo que cambiar su modelo de subasta de energía eólica en el 2013 para garantizar que las nuevas plantas dieran salida a la producción. El cambio implica que sólo podrán competir proyectos en áreas donde haya subestaciones y líneas de transmisión listas para que fluya la producción. Tres plantas en el noreste del país, con capacidad de 622 MW, no generan energía debido a que no tienen como dar salida a su producción por falta de subestaciones y líneas de transmisión.

Con este cambio la subasta tendrá dos fases: en la primera, la planta va a competir con otros proyectos por el derecho de uso de una determinada subestación. Los criterios para la elección de las plantas ganadoras en cada subestación será el precio más bajo de la energía producida. Si hay 150 MW concurrendo en una subestación con capacidad de sólo 100 MW, se elegirán los 100 MW más baratos. Los seleccionados en todas las subestaciones disponibles disputarán una segunda fase, en la que podrán cambiar el precio ofrecido en la fase anterior. El nuevo modelo de subasta también exigirá que los proyectos den mejores garantías de que la energía prometida se entregará realmente.

Otros países, como el Perú, también realizan subastas para comprar las energías renovables no convencionales, complementando la estrategia regular de concursos públicos para la expansión del sistema de generación. Los usuarios pagan una suma fija como un cargo del sistema; en ese sentido se consideran estas estrategias como tarifas *feed-in*.

Por otra parte, la importancia de privilegiar los proveedores de equipos nacionales en estas subastas queda bien establecida en el requisito de contenido local en Brasil. En Argentina el tema es aún incipiente con un impacto bastante significativo en la economía.

Según estimaciones de Kempter (2012), el programa de incorporación de energía renovable a gran escala GenRen implicaría el egreso de unos 2.400 millones de dólares para Argentina (básicamente trabajo calificado por un año para 9000 trabajadores europeos). Solo un oferente a este programa de subasta pública —la empresa IMPSA— incluyó equipos de fabricación local, el resto propuso importar las turbinas eólicas, algunos con torres de fabricación local, componente que alcanzaría solo a 22% del total del valor de cada aerogenerador. Las estimaciones también señalan que

se requerirían unos 14,5 puestos de trabajo calificado para fabricar un aerogenerador de 1 MW por año, y solo 0,5 puestos para operar un MW de parque eólico. Se identifica así un costo de oportunidad al no haber planificado un desarrollo basado en la fabricación local de los equipos, con el consiguiente egreso de divisas, comprometiendo el futuro del desarrollo local.

Para privilegiar el desarrollo de componentes locales, estimular la industria nacional y alentar el desarrollo de tecnología nacional, se acordó con la Asociación de Industriales Metalúrgicos de Argentina, un mecanismo de evaluación y certificación para la incorporación de componentes locales en los proyectos que se presenten. Esta evaluación tendrá influencia en la evaluación económica y, por ende, en la comparación de las ofertas.

En relación a la generación distribuida cabe destacar que actualmente la utilización de la *medición neta* —el instrumento mediante el que se incorpora efectivamente la generación distribuida y que permite volcar pequeñas fracciones de energía renovable en la red siguiendo tendencias propias de países desarrollados con sistemas eléctricos más maduros— está dando sus primeros pasos hacia la implementación en Uruguay<sup>6</sup>, Chile<sup>7</sup>, Panamá, Jamaica, Guatemala<sup>8</sup> y la República Dominicana<sup>9</sup>. Existe también un programa piloto en Costa Rica<sup>10</sup> y el tema es evaluado y discutido en Puerto Rico, El Salvador, Chile<sup>11</sup> y México<sup>12</sup>. En Barbados, la única empresa de energía del país desarrolló en 2010 un programa piloto de medición neta de energía eléctrica con la intención de motivar a sus clientes para que generaran su propia energía limpia para vender a la red (Climascope 2012). En México, la empresa eléctrica estatal, Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha sido, desde hace más de 70 años, la empresa dominante en el sector.

Las nuevas figuras que, en la actual Ley del Servicio Público de Electricidad, están autorizadas para generar electricidad, aparte de la CFE, son las de productor independiente —puede generar sólo para venta exclusiva a la CFE mediante contratos firmes de largo plazo—, exportador de electricidad —que puede producir en territorio mexicano para la venta transfronteras—, el autoabastecedor —que puede producir para su propio consumo— y el pequeño productor —que puede generar con plantas de capacidad inferior a 30 MW, para venta exclusiva a CFE sin que medie un contrato firme de largo plazo y con un precio de compraventa indexado al costo total de corto plazo de la propia CFE—.

Recientemente se ha incorporado al sistema eléctrico nacional una capacidad importante de centrales eólicas (más de 1300 MW a los que se agregan cerca de 700 MW más en construcción) en varias modalidades, pero cuya contribución al suministro eléctrico es aún baja.

En cuanto a la generación fotovoltaica, el esquema dominante en México es el de medición neta, que si bien cae dentro del modelo de autoabastecimiento autorizado por la ley, tiene reglas de operación particulares y ámbitos de aplicación específicos. Los productores pueden inyectar sus

<sup>6</sup> En el decreto del Poder Ejecutivo N° 176/ 2010, se establecen las principales condiciones para microgeneración con base en energías renovables (eólica, solar, biomasa microturbinas hidro) conectada en baja tensión. El microgenerador se autodespachará, considerándose su costo variable nulo, sin cargo por uso de redes. Los costos de energía asociados a esta forma de contratación se incluirán en el cálculo de las tarifas de UTE. La potencia pico del equipo no puede superar la contratada por el suscriptor. La energía entregada se remunerará, en general, al mismo precio que el cargo por energía del propio suscriptor (CIER Grupo de Trabajo 08, 2011).

<sup>7</sup> La Ley N° 20.571 de 2012 regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales.

<sup>8</sup> En octubre de 2008, la entidad reguladora, Comisión Nacional de Electricidad, aprobó las normas técnicas para conexión, operación, control y comercialización de Generación Renovable Distribuida (NTGDR) y de excedentes de auto producción. Esta normativa permite el acceso a las redes y lo reglamenta, estableciendo costos y responsables de la expansión. Esta generación distribuida está exenta de pagos por cargos de transmisión, ya que permite la reducción de pérdidas de la red.

<sup>9</sup> Resolución de la Comisión Nacional de Energía (CNE AD 0023 2011) y Reglamento del programa de medición neta (30 de noviembre de 2011). <http://cne.gov.do/app/do/searchsite.aspx?m=1&s=generacion+distribuida>

<sup>10</sup> Implementado por el ICE, para autoconsumo, busca analizar nuevas tecnologías de generación a pequeña escala (techos de edificios, excedentes de biomasa o de calor generado) y su efecto sobre las redes de distribución.

<sup>11</sup> La Ley N° 20.571 de 2012 regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales.

<sup>12</sup> “Estrategia Nacional de Energía”, Secretaría de Energía (SENER), citada en Gischler y Janson (2011).

excedentes de electricidad a la red, pero no reciben pago por ello como ocurre en el esquema de medición neta de otros países. Cuentan con un *banco virtual* con la CFE que les permite guardar esos excedentes hasta por doce meses consecutivos y tomarlos en una proporción uno a uno cuando lo consideran conveniente. La potencia instalada con tecnología fotovoltaica en este esquema es todavía muy pequeña, por debajo de los 50 MW, pero el número de usuarios que lo adoptan ha aumentado y alcanza a varios miles.

Por otra parte, varias empresas gestionan proyectos solares y eólicos para exportación de electricidad, principalmente hacia Estados Unidos, considerando la creciente demanda por energías limpias en ese país, y el gran potencial de estos recursos energéticos en los estados fronterizos que colindan con ese país más de 3000 kilómetros.

En 2008, el Congreso Nacional emitió la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) que ha transformado el marco institucional y regulatorio nacional, y acelerado el desarrollo de nuevos proyectos. Entre otras elementos, la LAERFTE establece metas para alcanzar 35% en la capacidad de generación no fósil en 2024 (a partir de cerca de 25% actualmente), 40% en 2035, y 50% en 2050, metas ambiciosas tomando en cuenta el crecimiento anual de la demanda eléctrica de 3,6% proyectado para los próximos 15 años.

La LAERFTE establece lineamientos para el desarrollo tecnológico nacional y crea mecanismos financieros para ese propósito. El Fondo para la Transición Energética financia en condiciones preferenciales proyectos precompetitivos de energías renovables, mientras que el Fondo de Sustentabilidad Energética financia proyectos para el desarrollo de tecnologías con el mismo propósito. A su vez, los bancos nacionales de desarrollo, BANOBRAS y NAFIN, financian proyectos de energías renovables a desarrolladores privados.

El crecimiento del mercado mexicano de energías renovables no convencionales se da en un momento en que la economía nacional está muy abierta al intercambio comercial, pero carece de tecnología propia para el desarrollo de los proyectos. Así, todo el parque eólico instalado a la fecha, así como los proyectos fotovoltaicos, se han realizado fundamentalmente con tecnología importada, por lo que una buena parte de los beneficios económicos de aprovechar los recursos energéticos renovables quedan en otras economías.

La LAERFTE sienta las bases para cambiar esta situación pero tendrá que pasar tiempo antes de que su impacto se sienta en la economía local. En la actualidad está en desarrollo un primer aerogenerador de potencia media (1,2 MW) como elemento básico para construir la cadena de valor de esta tecnología en el país. También se prepara los términos de una propuesta para constituir consorcios de empresas y centros de investigación orientados a incrementar la competitividad del país materia eólica y fotovoltaica.

Por último, en Colombia y Panamá la incorporación de un proyecto al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) trae ventajas adicionales. En el primero, se dan exenciones impositivas y en el segundo se permite aplicar hasta un 25% de la inversión directa al pago del impuesto sobre la renta, durante los primeros diez años del proyecto.

#### 4. Dinámica de los costos

En los últimos años, según la *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2013), se han registrado fuertes reducciones de los costos de los equipos de energía renovable no convencionales, que han permitido que actualmente esas tecnologías sean más competitivas frente a los combustibles fósiles.

El costo de capital de sistemas fotovoltaicos se compone de dos elementos: los paneles solares y el balance de planta, que incluye los costos del sistema estructural (instalación, *racks*, preparación del emplazamiento, etc.), el sistema eléctrico (el inversor, el transformador, el cableado y otras instalaciones eléctricas) y el costo de la batería, en caso de aplicaciones fuera de la red. Dependiendo de las tecnologías y el origen, los precios europeos de los paneles han caído entre 30% y

41% en 2012 y entre 51% y 64% en los últimos dos años. El significativo exceso de capacidad de producción ha llevado a una fuerte competencia. Los precios de los paneles de silicio cristalino provenientes de reconocidas empresas chinas cayeron a un promedio de 0,75 dólares entre septiembre y diciembre del 2012. La rápida reducción de los precios de los paneles de silicio cristalino por exceso de capacidad está presionando la producción con tecnología de celdas de películas delgadas, que ya compite con dificultad con las de silicio cristalino, que no son mucho más caras aunque son más eficientes y requieren un menor costo de balance de planta por MW.

En Alemania, los costos totales de instalación de sistemas fotovoltaicos residenciales cayeron de alrededor de 7000 dólares/kW en 2008 a 2200 dólares/kW en 2012. En Estados Unidos los costos para sistemas fotovoltaicos cayeron menos, solo a 5500 dólares/kW. Estos precios se comparan con los sistemas residenciales chinos cuyos costos bordean los 3400 dólares/kW, los sistemas australianos del orden de 4500 dólares /kW y los sistemas japoneses de alrededor de 4800 dólares/kW.

Los proyectos a gran escala en Estados Unidos son más competitivos que los sistemas residenciales, y el costo instalado está entre 2000 y 3600 dólares/kW en 2012. Ese año, el costo de los sistemas instalados se acercó a los 2200 dólares/kW en China y 1700 dólares/kW en la India.

Por su parte, en materia de energía eólica, el costo principal de un proyecto es el costo de capital inicial de las turbinas eólicas o aerogeneradores, responsable de dos tercios del costo de instalación total. Los costos varían no solo en función del lugar, sino también del tamaño del proyecto. Los costos serán menores por kW si el tamaño de la planta es mayor. Con el aumento de la competencia, gracias a la entrada al mercado de China y otros países emergentes, los precios de turbinas eólicas registraron una importante caída. China aumentó su capacidad de producción por encima de su demanda interna, con lo cual los precios cayeron de 658 dólares/kW en el 2010 a 630 dólares/kW en 2012.

Las caídas en los costos han tomado tiempo en reflejarse en los proyectos de instalación. Datos para Estados Unidos indican una caída desde un promedio de 2100 dólares/kW en 2011 a 1750 dólares/kW en 2012. Los costos en China fueron los más baratos, dada su excedente de capacidad de producción, el gran tamaño del mercado interno y los bajos precios del acero y el cemento, y contar una industria crecientemente competitiva. El cuadro V.1 muestra los costos promedio en algunas regiones en función del tipo de tecnología.

**CUADRO V.1**  
**CARACTERÍSTICAS Y COSTOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE**  
**TECNOLOGÍAS QUE USAN ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES**

Tecnología	Características	Costos de capital dólares/kW	Costos típicos dólares/kWh
Solar fotovoltaica (techos)	Capacidad pico 3-5 kW residencial		
	100 kW (comercial)		0,22-0,44
	500 kW (industrial)	2480-3270	(Europa)
Solar fotovoltaica (centrales)	Eficiencia 12-20%		
	Capacidad pico: 2.5-100 MW		
	Eficiencia: 15-27%		0,20-0,37
	100 kW (comercial)	1830-2350	(Europa)
Eólica en tierra	500 kW (industrial)		
	Eficiencia 12-20%		
Eólica (pequeña escala)	Tamaño de turbinas: 1.5-3.5 MW		
	Diámetro de rotor: 60-110+	1410-2475	0,052-0,165
Eólica (pequeña escala)	Tamaño de turbinas hasta 100 kW	3000-6000 (Estados Unidos)	0,15-0,20
		1580 (China)	(Estados Unidos)

Fuente: Renewables 2012 Global Status Report, REN21, 2012.



## D. Justificación

Además de los beneficios para la región de participar en una de las industrias más dinámicas a nivel mundial y avanzar en la transformación de su matriz energética a partir de un desarrollo de la industria local, hay dos hechos adicionales que justifican el proyecto: muchos países de la región dependen de la importación de combustibles fósiles para el sostenimiento de sus economías y sus sistemas eléctricos producen electricidad a muy altos costos en función de los precios internacionales de esos combustibles. La combinación de los altos precios de electricidad con fuertes tasas de crecimiento de la demanda de energía eléctrica es importante también para los inversionistas.

El promedio del precio de la electricidad al por menor en la región se situó en 0,14 dólares/kWh en 2010. Algunos países del Caribe tienen tasas especialmente altas —Jamaica (0,30 dólares/kWh), Barbados (0,26 dólares/kWh) y Belice (0,23 dólares/kWh)— debido a su dependencia de las importaciones de energías fósiles. Este es un incentivo adicional para que la región incorpore crecientemente las tecnologías de energías renovables no convencionales y la generación eléctrica distribuida en su matriz energética.

Por otra parte, el desarrollo de una industria de energías renovables no convencionales tiene un gran potencial de creación de puestos de trabajos calificados. Según la *Solar Energy Industries Association* (SEIA) de Estados Unidos, por cada 100 millones de dólares en ventas de celdas fotovoltaicas se generan unos 3800 empleos. La industria solar emplea directamente alrededor de 20 mil personas e indirectamente unas 150.000 en ese país. Para Europa, el empleo en esta industria en 2010 se estima en unas 240 000 personas. Por su parte, la industria eólica es también una importante generadora de empleos. Por ejemplo, la Asociación Europea de Energía Eólica (EWEA) proyecta que, en los 25 países de la Unión Europea, el número de empleados en la industria eólica alcanzará a 200 000 en 2020 (UNEP-ILO, 2008).

## E. Selección de países

Para la selección de los países que liderarán inicialmente el proyecto, se recurrió a datos de Climascopio (2012), que ubica a los países en un *ranking* de desempeño en la promoción de energías renovables. No es sorprendente que las economías más grandes se sitúen en los mejores puestos. Brasil lidera en los tres indicadores que utiliza el estudio: instituciones financieras con operaciones en energía limpia, cadenas de valor para la energía limpia y proveedores de servicios de energía limpia. Chile también se sitúa entre los tres primeros países en estos indicadores; mientras que México se sitúa en segundo y tercer lugar en los indicadores de cadena de valor y proveedores de servicios, respectivamente. Argentina clasifica por encima del promedio regional en relación a la política de energía limpia y el desarrollo de las cadenas de valor.

## F. Resultados y actividades

### Resultado 1

**Creación de capacidades y consolidación institucional que acompañen y fomenten el desarrollo tecnológico y el fortalecimiento de todos los subsectores de las cadenas de valor de las industrias de energía solar fotovoltaica y energía eólica.**

Actividades:

- 1.1. Un diagnóstico del marco institucional y jurídico aplicable a la generación eléctrica distribuida en los países participantes en el proyecto.
- 1.2. Un análisis exhaustivo de los subsectores que componen las cadenas de valor de la industria de energías renovables no convencionales para generación eléctrica en los países participantes en el proyecto, incluidas las instituciones financieras, el rol de los centros de

desarrollo tecnológico, las principales empresas nacionales, el papel de las pymes, los componentes de bienes y servicios importados, la generación de empleo en la industria, el marco institucional, los instrumentos de las políticas de fomento y promoción, y los resultados en proyectos de capacidad instalada.

- 1.3. Desarrollo de programas de capacitación para funcionarios de entidades gubernamentales nacionales mediante mecanismos de capacitación práctica directa en materia de políticas públicas y el marco legal para fomentar el desarrollo tecnológico y fortalecer los eslabones de toda la cadena de valor de la industria de energías renovables no convencionales.
- 1.4. Desarrollo de cursos de capacitación para funcionarios de entidades gubernamentales nacionales sobre la generación distribuida, el diseño de políticas públicas e instrumentos financieros que la promuevan y los mecanismos legales que se requieren implementar para la integración a red de la generación eléctrica distribuida con fuentes renovables.
- 1.5. Creación de redes de difusión de información y cooperación para difundir y promover el concepto de generación eléctrica distribuida, tanto en el ámbito de las empresas eléctricas, como entre las instituciones gubernamentales, los inversionistas públicos y privados, las universidades y los profesionales, y el público en general.

## **Resultado 2**

**Desarrollo de un modelo de cooperación y transferencia tecnológica que fomente iniciativas conjuntas con empresas de vanguardia o centros de IyD regionales o internacionales, para la industria de las energías renovables no convencionales.**

### Actividades

- 2.1 Identificar los nichos para la cooperación tecnológica entre los países participantes en el proyecto. Esta actividad puede tener distintos subproductos incluyendo un trabajo en los servicios relacionados, en el desarrollo de componentes, en aplicaciones innovadoras de energía solar y eólica, en investigación en fallas de operación, medición y monitoreo, y en el comportamiento de las redes distribuidas.
- 2.2 Elaborar estudios de factibilidad tecnológica para la creación de industrias (productos y servicios) de energías renovables no convencionales (sectores eólico y solar fotovoltaico) en cada país participante en el proyecto.
- 2.3 Identificar y contactar empresas o centros de IyD, internacionales o regionales, que estén en la frontera del conocimiento tecnológico en materia de energías renovables no convencionales para su participación en iniciativas conjuntas.
- 2.4 Identificar territorios con potencial y formular proyectos conjuntos para la generación distribuida con energías renovables no convencionales en cada uno de los países participantes en el proyecto, identificar las posibles barreras y proponer los mecanismos para superarlas.
- 2.5 Propuesta de modelo de cooperación, transferencia tecnológica y producción para iniciativas de empresas o centros de desarrollo tecnológico conjuntas en la industria de las energías renovables no convencionales.

## **Resultado 3**

**Crear capacidades técnicas para el diseño, ingeniería de fabricación, ensamblado, operación y certificación de tecnologías de energía renovable no convencional para generación eléctrica distribuida, y sus respectivos medios de conexiones a la red.**

### Actividades

- 3.1 Identificar los componentes requeridos para integrar las cadenas de las tecnologías renovables no convencionales con mayor potencial de aplicación en cada uno de los países participantes en el proyecto.

- 3.2 Diseño y realización de talleres de capacitación para la formación práctica relacionada con el diseño, fabricación, ensamblado y operación de sistemas para generación eléctrica distribuida con energías renovables no convencionales.
- 3.3 Diseño y realización de cursos de capacitación en cada uno de los países para pequeños productores privados sobre la generación distribuida para aplicaciones de energías renovables no convencionales.
- 3.4 Desarrollo de programas de fortalecimiento de capacidades en las universidades, con formación de pregrado y postgrado en las tecnologías de generación eléctrica con energías renovables no convencionales.

## Resultado 4

**Identificar mecanismos de financiamiento para el desarrollo y la ejecución conjunta de proyectos de demostración para la generación distribuida con energías renovables, con un alto porcentaje de insumos nacionales y regionales en las adquisición, fabricación y ensamblaje de los componentes.**

### Actividades

- 4.1 Evaluación del financiamiento mediante fondos internacionales, tales como el Fondo de Inversiones para Tecnología Limpia, que se canalizan a través de los bancos de desarrollo multilaterales.
- 4.2 Evaluar la creación de una arquitectura financiera estatal para el financiamiento de los proyectos de energías renovables no convencionales en cada uno de los países, como por ejemplo el Fondo de Energías Sostenibles de México<sup>13</sup>
- 4.3 Analizar la recaudación de fondos disponibles para proyectos de energías renovables no convencionales con bancos regionales.
- 4.4 Evaluar los mecanismos de financiamiento a través de instituciones de microfinanzas para pequeños productores en los países participantes.

## G. Riesgos y medidas de mitigación

**CUADRO V.2  
RIESGOS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

Riesgos	Medidas de mitigación
Ausencia de compromiso político para promover el desarrollo y la implementación de energías renovables no convencionales	Los países seleccionados cuentan con programas de política pública para promover la industria renovable y la generación distribuida y tienen metas para la incorporación de renovables en la red eléctrica
Falta de recursos humanos con capacidad técnica para el desarrollo tecnológico	Los países seleccionados tienen una estructura institucional y educacional bastante desarrollada; existen recursos humanos capacitados
Ausencia de un interés económico en la industria que promueva el desarrollo del sector	Se construirá sobre la experiencia existente en los países seleccionados, en estrecha coordinación con centros de IyD y el sector privado. En estos países, existen empresas nacionales o iniciativas relevantes sobre las que se puede avanzar
No existen mecanismos de financiamiento para proyectos de energía renovable no convencional	Los países seleccionados cuentan con buenos desarrollos de mecanismos financieros y una institucionalidad bastante sólida
Las empresas eléctricas existentes se oponen a la conexión en generación distribuida	Varios países en la región están iniciando actividades en generación distribuida

Fuente: Elaboración propia.

<sup>13</sup> <http://www.renov-arte.es/america-latina/mexico-crea-fondo-verde-para-energias-renovables.html>

## Bibliografía

- Battle, C. y Barroso, L. A. (2011), *Review of Support Schemes for Renewable Energy Sources in South America*, Center for Energy and Environmental Policy Research.
- CIER (2011) Grupo de Trabajo 08 Comisión.
- Climascope (2012), *Cambio climático y clima de inversión en América Latina y el Caribe*.
- Gischler, Christiaan y Nils Janson (2011), *Perspectivas sobre la generación distribuida mediante energías renovables en América Latina y el Caribe: Análisis de estudios de caso para Jamaica, Barbados, México y Chile*, BID, IDB-DP-208.
- IRENA (2013), *Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview*.
- Kempton, Reinaldo (2012), “Se ató al caballo detrás del carro”, *Prensa Energética*, 9, 5, p 46-49. Buenos Aires, Argentina
- Knight, Eric (2012), *China’s new approach to renewable energy*, Oxford University Press.
- REN21 (2012), *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables 2012, Global Status Report*.
- UNEP-ILO (2008), *Green Jobs: Toward decent work in a sustainable, low-carbon world*.



Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)  
Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)  
[www.eclac.org](http://www.eclac.org)