

Respuestas socio-tecnológicas frente a la COVID-19 en México: *Spin-offs*, repositorios e impresión 3D

Socio-technological responses to COVID-19 in Mexico: Spin-offs, repositories and 3D printing

Maximino Matus Ruiz¹

Fecha de recepción: 9 de marzo de 2021

Fecha de aceptación: 8 de julio de 2021

1 - Nacionalidad: Mexicana. Grado: Doctorado en Sociología del desarrollo rural. Adscripción: CONACYT – COLEF.
● ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7507-0343> | Correo electrónico: matus@colef.mx

Clasificada por:



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Resumen

El objetivo del artículo es analizar dos iniciativas sociotecnológicas, una ciudadana y otra gubernamental, que se configuraron en México como respuesta a la escasez y el acaparamiento de dispositivos sanitarios y médicos en el contexto de la pandemia COVID-19. La respuesta ciudadana analizada es el movimiento coronavirus_maker_mx, en tanto que la iniciativa gubernamental a escrutinio son los ventiladores Gätsy y Ehecátl 4T desarrollados bajo la coordinación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. La metodología utilizada implicó realizar seguimiento en línea a grupos de coronavirus_maker, entrevistas abiertas con miembros de la comunidad, y revisión de fuentes de segunda mano para el caso de la iniciativa gubernamental. Al desentrañar las redes de actores que estuvieron detrás del diseño y la producción de dispositivos para hacer frente a la COVID-19, concluimos que los casos analizados representan modelos diferentes de desarrollo tecnológico que nos invitan a pensar en algunas alternativas para el impulso de tecnología "soberana" en México.

Palabras clave: Impresión 3D, manufactura aditiva, maker, ciencia abierta

Abstract

The objective of the article is to analyze two socio-technical initiatives, one citizen and the other governmental, that were configured in Mexico as a response to the shortage and hoarding of medical devices in the context of the COVID-19 pandemic. The citizen response analyzed is the coronavirus_maker_mx movement, while the governmental initiative under scrutiny are the Gätsy and Ehecátl 4T ventilators developed under the coordination of the National Council on Science and Technology. The methodology used involved online tracking of coronavirus_maker groups, open interviews with community members, and review of second-hand sources in the case of the government initiative. By unraveling the networks of actors that were behind the design and production or printing of devices to address COVID-19, we conclude that the cases analyzed represent different models of technological development that invite us to think about some alternatives for the promotion of "sovereign" technology in Mexico.

Keywords: 3D printing, additive manufacture, makers, open science

Introducción

Desde la perspectiva de algunos actores empresariales, gubernamentales y académicos, en la actualidad estamos en los albores de la cuarta revolución industrial, la cual es consecuencia de la digitalización de la industria promovida por el desarrollo y adopción de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 (Kagermann et al, 2013, p. 5), las cuales a su vez derivan de la tercera revolución digital (Gershenfeld, N., et al, 2017). Las primeras dos revoluciones digitales se remontan a la segunda mitad del S. XX, en tanto que la última se ha desarrollado a lo largo de las dos primeras décadas del S. XXI. La primera revolución digital se relaciona con la revolución de la comunicación y la invención de Internet, la segunda con las computadoras personales y los teléfonos celulares inteligentes. En tanto que la tercera “completa las primeras dos revoluciones trayendo la programabilidad² del mundo virtual de los bits al mundo físico de los átomos” (Gershenfeld, N., et al, 2017 p.5, traducción propia). Es decir, que, en la actualidad, gracias a diversas tecnologías asociadas a las tres revoluciones digitales es posible programar materia a partir del Diseño Asistido por Computadora (CAD) e imprimirla mediante tecnologías de tercera dimensión (3D) o de Manufactura Asistida por Computadora (CAM). Pero quizás, lo más impresionante de esta última revolución digital, es que la democratización de las tecnologías de diseño e impresión 3D está sucediendo de manera acelerada y cambiando los fundamentos de la manufactura; pasando de lo extractivo a lo aditivo, en tanto que los espacios de diseño y producción están cambiando de lo localizado a lo distribuido.

A nivel individual y colectivo, la cultura *maker* -hacedores- ha sido impulsora de la fabricación digital y la impresión 3D. Los orígenes de esta cultura se remontan al movimiento *hágalo usted mismo* (DYS, por su acrónimo en inglés) que se popularizó en Estados Unidos hacia los años 50 del siglo pasado. Dicho movimiento inclusive generó sus propias publicaciones de referencia, tal es el caso de las revistas *Mecánica popular* o *Electrónica popular*. Los primeros *makers* fueron análogos, sin embargo, no tardaron en migrar hacia lo digital. De hecho, la primera computadora personal comercializada fue la Altair 8800. En una publicación de 1975 dicha computadora fue promocionada en la portada de la revista *Electrónica popular* y a partir de esta publicación logró vender cuatro mil unidades. Las computadoras se recibían desarmadas y eran ensambladas en los *garajes* de miembros afines a la cultura *maker* (Pastor, 2015).

En años recientes, con la democratización de las tecnologías asociadas a la impresión 3D, la cultura *maker* ha ganado nuevos seguidores a nivel mundial. En la actualidad sus miembros pertenecen a diversas generaciones de migrantes y nativos digitales (Prensky, 2001). Con la expansión de la comunidad y la diversidad de sus miembros, los *makers* comenzaron a ser identificados menos con una cultura y más con un movimiento. En consecuencia, Dale Dougherty cofundador y editor de O'Reilly Media acuñó el término *movimiento maker*. En 2005 Dougherty lanzó la revista *Make*, la cual se ha convertido en un referente del movimiento, y además comenzó a promover una serie de festivales de *makers* en los Estados Unidos (Hacedores, 7 de julio de 2014). Otro factor que dio un nuevo impulso al movimiento *maker* fue la crisis económica de 2008, a partir de la cual los espacios *maker* comenzaron a ser percibidos como lugares populares de fabricación, desde los cuales era posible producir objetos -cotidianos y extraordinarios- al margen del capitalismo extractivista.

2- Calidad de ser programable.

Con la crisis sanitaria desatada por la pandemia, dichos espacios han demostrado ser además lugares desde donde es posible diseñar e imprimir dispositivos sanitarios y médicos para prevenir y atender afecciones relacionadas con la COVID-19. Al menos como una primera respuesta frente a la emergencia provocada por la escasez y el acaparamiento de dispositivos sanitarios y médicos para la protección o atención frente a la COVID-19, lo cual se evidenció en México a inicios de la pandemia; paradójicamente en el país existen diversas Empresas Multinacionales (EMN) que fabrican dispositivos para auxiliar la respiración –en adelante ventiladores-, sin embargo, estos no pueden ser comercializados a nivel nacional ya que su venta está comprometida con otros países. La anterior desató una crisis entre dichas EMN y diferentes niveles de gobierno en México, la cual explicamos brevemente a continuación.

En mayo de 2020 Tijuana solo contaba con una docena de ventiladores para atender a pacientes con COVID-19. Paradójicamente en la ciudad opera la empresa estadounidense Vyair que, al inicio de la pandemia, en tan solo un mes pasó de producir 1700 a 2780 ventiladores. Empero, estos se destinaban exclusivamente a los Estados Unidos de América (EUA). Caso similar es el de Smiths Healthcare cuyas instalaciones están en la ciudad de Mexicali y durante el primer pico de la pandemia en Inglaterra vendió 10 mil unidades a este país (Heras, 23 de abril de 2020).. Al respecto, el secretario de economía de Baja California señalaba que ante la crisis, el estado necesitaba entre 1,000 y 1,500 ventiladores, los cuales podrían ser surtidos con facilidad por las EMN que se dedicaban a la producción de dichos dispositivos, sin embargo, su venta ya estaba comprometida con otros países. Como medida de presión el 8 de abril de 2020, el gobernador de Baja California suspendió las actividades de Smiths Healthcare argumentando falta de medias de seguridad, además de considerar que no era una industria esencial al negarse a vender ventiladores al gobierno local³. El conflicto se resolvió con la intervención del embajador de EUA en México⁴ y finalmente se acordó la venta de un pequeño porcentaje de la producción a la entidad, sin embargo, no se hicieron públicas las condiciones del acuerdo alcanzado.

Frente a un escenario de escasez y acaparamiento de ventiladores, por instrucción presidencial, el 24 de abril de 2020 el presidente de México asignó al Conacyt la responsabilidad de coordinar el diseño y manufactura de ventiladores 100% mexicanos. Por su parte, el movimiento Coronavirus_maker_mx (Coronavirus Maker México, 2020a), además de imprimir caretas, también conjuntaron esfuerzos para la impresión de ventiladores a partir de modelos y prototipos hospedados en repositorios digitales, sin embargo, restricciones sanitarias y en menor medida tecnológicas, impidieron su éxito. Caso contrario fue el de una pyme intensiva en conocimiento que gracias a su alianza con Conacyt logró materializar la producción de uno de los primeros ventiladores “100 % mexicanos”: Gätsy. Otro de los ventiladores impulsados por Conacyt fue Ehécatl, el cual partió de un modelo de acceso abierto desarrollado por el MIT en 2010. A partir de los casos antes presentados cabe preguntarse porque las iniciativas de Conacyt fueron exitosas en el desarrollo de ventiladores, en tanto que la iniciativa de los Coronavirus_maker fracasó; se argumenta que en parte esto se relaciona con la red de actores que se aglomeraron en torno a cada desarrollo socio-tecnológico.

Como lo señala Batteau (2010), la tecnología y sus innovaciones son procesos socio-técnicos, que están hechos de...

3- Durante el primer pico de la pandemia en México se expidió un decreto gubernamental que prohibió la operación de industrias y negocios no esenciales.

4- Christopher Landau, quien culminó funciones el 20 de enero de 2021.

objetos estables en los que se han inscrito una serie de valores sociales, instituciones sociales, problemas sociales, innovaciones políticas e identidades sociales. Entre más grande el desarrollo tecnológico (en términos de grado de complejidad), mayores serán los requerimientos para inversión institucional en entrenamiento, regulación, planeación, soporte e infraestructura. (p. 18, traducción propia)

La red de los Coronavirus_maker_mx fue extensa, horizontal y descentralizada. Esta se inició en España y extendió por numerosos países de Iberoamérica, cada una de sus extensiones generaba nuevas ramificaciones y conexiones, lo cual aceleró la documentación de requerimientos para el diseño e impresión de ventiladores, pero retrasó la generación de consensos al interior de la comunidad respecto al modelo final, y la aprobación de sus prototipos por parte de instituciones gubernamentales. En cambio, la red socio-tecnológica aglomerada en torno al proyecto de Conacyt fue localizada, jerárquica y centralizada, además de contar con facilidades institucionales y cuantiosos recursos para su funcionamiento.

En lo que resta del artículo explicamos cómo estos actores y sus conglomerados relacionados lograron desarrollar dispositivos para la atención o protección de la COVID-19 en México. La exposición se divide en cinco secciones, a saber: 1) El panorama de la impresión 3D en México, 2) el movimiento Coronavirus_maker, 3) el movimiento Coronaviruas_maker_mx, 4) Las Pymes intensivas en conocimiento y la impresión de dispositivos médicos, y 5) La iniciativa gubernamental para el desarrollo de los respiradores Gãtsi y Ehécatlt 4T, así como el apartado de conclusiones. La metodología utilizada implicó realizar seis entrevistas a profundidad en línea con miembros de la comunidad maker en México entre los meses de diciembre 2020 y enero de 2021. Además, se realizó un seguimiento como observador no participante de las redes de Coronavirus_maker en México durante los meses de abril y enero de 2020, en particular de sus canales Discord y Telegram. También se recabaron datos de páginas web, podcast y videos de Youtube subidos a la red por los makers españoles y mexicanos que participaron en el movimiento, así como páginas web institucionales del gobierno mexicano.

1. Panorama de la impresión 3D en México

La apropiación de las tecnologías asociadas a la impresión 3D y la manufactura aditiva en México se extiende a lo largo de la última década. En el *Diagnóstico para el Desarrollo de Procesos de Fabricación de Manufactura Aditiva* realizado por la Cámara Nacional de la Industria de Transformación (Canacindra), se menciona que una de las primeras experiencias exitosas a nivel nacional fue el Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva Digitalización 3D y Tomografía Computarizada (MADIT) de la UNAM. Este laboratorio impulsó un proyecto pionero con la industria farmacéutica en 2011: “desarrollando tres prototipos funcionales de piezas post-quirúrgicas elaboradas con la tecnología de modelado por deposición fundida” (Canacindra, 2016, p. 38).

Del estudio realizado por Canacindra en 2016, destaca que en una pequeña encuesta en línea cuya muestra estuvo conformada por “20 empresas del sector automotriz, 20 empresas del sector de autopartes y 20 empresas del sector de bienes de capital, adicionando la participación de 10 empresas del sector metalmecánico” (Canacindra, 2016, p. 69), se identificó que existía un amplio desconocimiento

de la tecnología 3D y sus aplicaciones. El sector donde se tenía mayor conocimiento sobre el concepto de manufactura aditiva era el automotriz, sin embargo, este apenas alcanzaba el 40%. En otros sectores como la metal-mecánica disminuía hasta la mitad, empero, esto no significa que quienes conocían la tecnología ya la hubieran adquirido pues solo el 17% señaló estar desarrollando procesos de adquisición. Entre quienes habían accedido a la tecnología, dos eran las razones que concentraban el 50% de los factores que habían promovido su adopción: 1) la necesidad de desarrollo acelerado de productos, y 2) la necesidad de ofrecer productos personalizados y de serie limitada (Canacintra, 2016).

Si bien, los datos antes presentados hacen evidente que el proceso de adopción de esta tecnología ha sido relativamente lento en el país, destaca que a nivel de Latinoamérica, México es uno de los países más avanzados, según la Red Mexicana de Manufactura Aditiva: “México, junto con Brasil, es de los países con mayor adopción de esta tecnología en América Latina; tan solo Stratasys, líder en tecnología de manufactura aditiva, experimentó un crecimiento de 200% entre 2013 y 2017 en el mercado mexicano” (Alcántara, Agosto, 2018).

Conacyt también ha impulsado activamente la manufactura aditiva en el país. Por ejemplo, desde 2013 en el Centro de Investigación e Innovación en TIC (Infotec), Centro Público de Investigación (CPI) de Conacyt, se había constituido un programa especializado en el desarrollo de productos derivados de la manufactura aditiva, además de un programa educativo en este sentido (Infotec, s. f.). Otra iniciativa fue el Consorcio de Manufactura Aditiva (Conmad) conformado por el Centro de Ingeniería y desarrollo Industrial (Cidesi) y el Centro de Tecnología Avanzada (Ciateq), que a través del desarrollo de proyectos conjuntos busca la integración entre miembros de las cuatro hélices: “para diseñar, fabricar, reparar y/o caracterizar partes y componentes a través de la Manufactura Aditiva (MA) y sus procesos periféricos, para que las empresas regionales exploren y validen los procesos de MA como potenciales tecnologías, para ser implementadas en sus cadenas productivas sin tener que adquirirlas previamente” (Conacyt, 2020).

A nivel individual, de colectivos *maker* y otros espacios de fabricación digital como los *fab labs* (Matus, Colobrants y Serra, 2020)⁵, la apropiación de las tecnologías de diseño y manufactura distribuida (CAD y CAM por su acrónimo en inglés) es cada vez más extendida en México. Además, a partir de la información de primera y segunda mano recabada para la elaboración del presente artículo, argumentamos que la pandemia promovió un apropiamiento acelerado de este tipo de tecnologías para el desarrollo de dispositivos para la prevención o atención de la COVID-19. Como se explica en la siguiente sección, a inicios de la pandemia más de 300 *makers* se unieron a nivel nacional como respuesta a la escasez o acaparamiento de dispositivos sanitarios y médicos en el país.

2. Coronavirus_maker

Otra de las cosas que hemos hecho ha sido crear aquí una categoría de primeros pasos con información de respiradores para *makers*. Seguro que es muy mejorable pero yo hace 48 horas no tenía ni idea de respiradores.

Fragmento de Podcast *Las Hora maker*, 16:17-16:40 (La Hora Maker, s. f.).

5- Laboratorios de fabricación digital o laboratorios fabulosos.

Frente a la emergencia mundial, a nivel individual y colectivo los *makers* y sus comunidades mostraron una amplia capacidad para autoorganizarse y coordinar el diseño y la fabricación distribuida de dispositivos capaces de atender o mitigar los efectos de la pandemia; desde caretas de protección hasta ventiladores para surtir oxígeno y *spliters* para distribuirlo. Tal fue el caso de la comunidad Coronavirus_maker que nació a mediados de marzo 2020 en España y en unos días logró coordinar a más de 16 mil *makers* con científicos e ingenieros, quienes se organizaron en grupos según sus regiones y capacidades de diseño, producción y distribución. Cabe destacar que desde un inicio los *makers* españoles tenían claro que si lograban imprimir ventiladores no eran para suplir a los dispositivos médicos más profesionales, sino que serían utilizados en casos de emergencia o en las regiones más alejadas donde no existían este tipo de dispositivos. Es decir, que desde un principio quedó claro que este desarrollo y otro tipo de dispositivos sanitarios y médicos serían para la “emergencia”:

La idea de estos respiradores obviamente lo que decía David, no es llegar, suplir respiradores comerciales que ya existen, que lo hacen muchísimo mejor, que tienen todas las certificaciones de seguridad y de más, porque ya aclaro, los respiradores son de los dispositivos más complejos que si no funciona no solo es que no te ayude sino que te acaba matando ... más bien tratar de pensar si la cosa se desborda, si no hay otra alternativa, si no hay otra cosa, que cosas pueden ser útiles para los médicos. Fragmento de Podcast *La Hora maker*, 4:44 – 6:08. (La Hora Maker, s. f.)

Los modelos de partida fueron aquellos de acceso abierto desarrollados en 2010 en el contexto de la gripe aviar, tal como lo fue el caso de un prototipo creado en el MIT y a cuyos planos de diseño (CAD) se podía acceder de forma libre vía repositorios digitales (La Hora Maker, s. f.).

La carrera europea por lograr imprimir un respirador de código abierto a bajo costo encontró una de sus expresiones más esperanzadoras en VentilAid. Desde sus inicios la iniciativa originada en Polonia tuvo la visión de expandirse a otros países y encontró el apoyo internacional de las redes globales de *makers* a partir de la publicación del primer prototipo el 20 de marzo del 2020. Tan solo tres días después se presentó el segundo prototipo y la respuesta fue abrumadora pues el video alcanzó cientos de miles de vistas. Además, recibieron el apoyo de instituciones gubernamentales para realizar las primeras pruebas, sin embargo, el resultado final fue fallido:

Gracias a la gran respuesta de la comunidad, las unidades médicas, los técnicos médicos y los anestesiastas, pudimos verificar nuestras ideas acerca del primer prototipo Mk I. De ahí resultó que esta vía de ventilación de pacientes con COVID-19 es inefectiva y surgió la necesidad de otro tipo de dispositivo. Por esto dejamos de dar soporte a este prototipo y nos centramos en el desarrollo del uno más sofisticado y exigente Mk III (VentilAid Breathing Device). (Ventilaid, 2020)

¿Fue el MKI un fracaso? No, al contrario, desde nuestra perspectiva fue un proyecto que tuvo éxito por la forma acelerada en que logró aglomerar a agentes de las diversas hélices a nivel nacional

e internacional. Gracias a ello fue posible probar su eficacia y descartar rápidamente dicha solución, lo cual permitió seguir iterando en prototipos para lograr escalar hasta llegar al modelo adecuado, el cual a finales de 2020 aún seguía en desarrollo. Además, es importante mencionar que desde un principio el equipo de VentilAid fue cuidadoso en señalar que estaban desarrollando un ventilador para ser utilizado en casos extremos, es decir, solo cuando no se contaba con otra alternativa de mayor calidad; en buena medida muchas de las soluciones desarrolladas por los *makers* siguen una lógica similar; son una solución ante la emergencia, no la solución más eficaz, ni la final.

Volviendo al caso del movimiento Coronavirus_maker cerramos este apartado señalando que hacia el 22 de abril de 2020 -40 días después de haberse conformado el movimiento- ya se habían entregado 400 mil viseras, 100 mil mascarillas y 20 mil batas quirúrgicas en España. El financiamiento de la producción se obtuvo de donaciones ciudadanas, organizaciones de la sociedad civil y empresas. Hacia ese entonces, en el movimiento Coronavirus_maker español ya habían sido capaces de imprimir ventiladores, sin embargo, debido a cuestiones de regulaciones sanitarias estos no podían ser entregados a las instituciones de salud (Coronavirus Maker México, 2020b).

A pocos días de haber surgido el movimiento Coronavirus_maker en España este se expandió a otros países del mundo gracias al uso de *Telegram* (@coronavirus_maker) y diversas páginas web desde donde comparten conocimiento y se autoorganizan gracias a un *bot* que da acceso a todos los enlaces de los grupos de trabajo de *Telegram* por países y regiones en todo el mundo (@coronavirus_maker_bot) con la finalidad de coordinar el diseño, la impresión y distribución de los bienes producidos (Coronavirus Maker México, 2020c). En caso de poseer una impresora 3D, CNC o inyección de moldes se invitaba a darla de alta en el sistema y ponerla a disposición de la comunidad para facilitar la impresión distribuida. Al 22 de abril de 2020 había enlaces para grupos de 21 países que participaban en la iniciativa. El país con más grupos era España que contaba con 106 registrados, continuaba Argentina con 18 y en tercer lugar México con 5 grupos. Estos datos demuestran la acelerada dinámica performativa de las redes extensas, horizontales y descentralizadas para la innovación.

En la cuenta española de @coronavirus_maker de *Telegram* también se proporcionaba un enlace *git*⁶ para acceder a un repositorio digital con diseños listos para ser impresos, así como un enlace donde se ofrecía la opción de solicitar material o de colaborar de alguna otra manera. Además, se proporcionaba una liga donde se invitaba a participar en un *hackathon* a nivel de la Unión Europea llamado #EUvsVirus y que se llevaría a cabo del 23 al 26 de abril de 2020.

3. Coronavirus_maker_mx

“Se veía la necesidad y había muy buena voluntad de todo mundo y se sentía este tipo de solidaridad que emerge en emergencias qué se siente en todos lados, como cuando el temblor, por lo menos ese tipo de sensación yo percibía al principio” (P. Buenrostro, comunicación telefónica, 17 de diciembre de 2020).

⁶ Git es un *software* de control de versiones que tiene la finalidad de gestionar un gran número de archivos de código fuente.

En el caso específico de México, la comunidad *Coronavirus_maker_mx* había logrado entregar a hospitales distribuidos en todo el país más de 30 mil mascarillas protectoras hasta el 22 de abril del 2020. El canal de Telegram para los *makers* mexicanos seguía una lógica similar al canal español antes descrito. Se ofrecían formularios para hacer un inventario de impresoras 3D, cortadoras laser, logística y organización, búsqueda y enlace con organizaciones, acceso a recursos en especie o económico y otros. Esto se organizaba mediante una hoja de Google Docs donde primero había que registrarse con los datos generales de identificación: correo, nombre, dirección y teléfono. En el caso mexicano el *bot* que gestionaba la cuenta Telegram del movimiento *Coronavirus_maker_mx*, tenía registrados cinco grupos: Chihuahua con 31 miembros, Guanajuato con 105, Michoacán con 25 y San Luis Potosí con 80. Llama la atención que la liga de acceso al quinto grupo mexicano denominado *Mexico_Maker_Covid-19* ya no tenía el enlace disponible hacia el 23 de abril de 2020. Empero, en algunos mensajes de chat de los otros grupos se hablaba de que en total eran cerca de 300 *makers*, lo que sugiere que este último grupo se escindió.

A inicios del movimiento también existió un grupo de Discord (Discord app, s.f.) que funcionó mediante una lógica similar al grupo de Telegram antes descrito. Este grupo surgió el 23 de marzo de 2020 y llegó a concentrar 316 miembros. Al interior de este espacio existían canales para todos los estados de la república, sin embargo, no todos tenían miembros. Los temas generales en los que se organizaban las conversaciones eran los siguientes: #general #Procedimientos-fullfilm #Patrocinadores #Proveedores #Repuestos-piezas-ambu #repartidores. Sin embargo, el uso de este grupo comenzó a disminuir en las siguientes semanas después de su fundación ya que la mayoría de los *makers* mexicanos continuaron organizándose mediante los canales de Telegram que fueron creados por la comunidad de forma paralela.

En entrevista con Buenrostro, quien se involucró con la iniciativa *Coronavirus_maker_mx* en sus inicios, comentó que desde su perspectiva los impulsores o *brokers* centrales de la iniciativa en el país fueron Antonio Quirarte y Gustavo Merckel fundadores de *hacedores.com* (Hacedores, s. f.) y de otras iniciativas que promueven la adquisición de habilidades digitales (Jacaranda Education, s. f.) y la democratización de los espacios *maker* en el país. Destaca que estos actores tienen un contacto cercano con la comunidad *maker* española. Buenrostro se enteró de la iniciativa a través de redes sociales y contactó a Antonio y Gustavo para participar en el movimiento, dio de alta su perfil en el grupo Discord y se enfocó a buscar patrocinadores de filamento para la impresión:

Entonces el grueso de los que eran parte de la comunidad son personas que tienen impresoras y estamos otros pocos que tenemos otros roles y que podemos apoyar de otra manera, yo no tengo impresora, pero si conozco a varias personas de la comunidad maker por todo el país, por la chamba y por los años de experiencia ... o sea mi perfil no es de ingeniería, de mecatrónica y esos perfiles pero me ha tocado trabajar con esas comunidades por muchas razones. (P. Buenrostro, comunicación telefónica, 17 de diciembre de 2020)

El testimonio de Buenrostro señala una particularidad de los actores que se aglutinaron en torno al movimiento *coronavirus_maker_mx*: su diversidad de capacidades experiencias y recursos. Por ejemplo, en el caso del grupo de *Coronavirus_maker_México* de Chihuahua organizado a través de Telegram participaban 31 miembros hasta el 22 de abril de 2020 y estaba conformado por *makers* y

no *makers* provenientes de diferentes áreas de conocimiento -diseño, ingeniería, medicina, biología- e instituciones -pymes y gobierno-, aunque la mayoría eran ciudadanos sin ningún tipo de afiliación empresarial o institucional. Además, destaca que la mayoría eran originarios de Chihuahua y Ciudad Juárez. Es precisamente esta amalgama de perfiles y capacidades lo que permitió en un primer momento organizar a una vasta red de actores para conseguir un fin: la impresión y distribución de dispositivos sanitarios para la atención o prevención de los efectos generados por la COVID-19. Destaca que uno de los problemas que el grupo de Chihuahua enfrentó para la manufactura de los dispositivos fue la carencia de filamento. Como solución, algunos miembros de este grupo habían arrobado a periodistas como @julioastillero y cómicos como @dervez para solicitar difusión y apoyo. Además, por medio de las redes también se habían acercado a empresas que vendían filamento para la impresión 3D como Steren y otras que pudieran ofrecer financiamiento como Coca Cola. No obstante, la respuesta fue baja y se comenzó a hablar de una escasez de filamento en México.

Al hacer una revisión de este grupo de Telegram de Coronavirus_maker_chihuahua se identificaron diferentes problemáticas y disputas al interior del mismo, las cuales, tenían que ver con la identidad profesional e instituciones de filiación de sus miembros. En cuanto a los problemas de identidad profesional encontramos que la diversidad de conocimientos asociado a la cultura *maker*, así como a la medicina, la biología y la ingeniería en lugar de potenciar las capacidades interdisciplinarias, generaba conflictos disciplinarios. En ocasiones los técnicos o ingenieros desacreditaban a quienes consideraban que no eran parte del movimiento *maker* y no conocían su filosofía, lenguajes y procesos. En cambio, quienes poseían el conocimiento científico desacreditaban a los *makers* por querer producir sin tomar en cuenta los posibles riesgos a la salud de dispositivos médicos que no fueran elaborados con los estándares adecuados, lo cual sugiere una confrontación entre el pensamiento científico Vs. los poseedores de tecnología para la impresión 3D.

Por otra parte, identificamos que en algunas discusiones también se desacreditaba a las personas cercanas al gobierno que habían entrado al grupo, así como las iniciativas impulsadas por la Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico del estado para organizar a la comunidad *maker* de Chihuahua a través del reto COVID-19, pues consideraban que de esta forma pretendían apropiarse de su movimiento. Es decir, que en lugar de utilizar a la diversidad de actores de las cuatro hélices como un activo, algunos miembros del grupo lo consideraban un riesgo, en particular por temor a que funcionarios públicos se quisieran autonombrar líderes o impulsores de una iniciativa. Desde nuestra perspectiva, este hecho señala una tensión recurrente en la dinámica de las redes socio-tecnológicas extensas, horizontales y descentralizadas para la innovación; su tendencia hacia la centralización con la finalidad de estabilizarla o preservar un estado temporal de la misma. Como lo ha señalado De Landa, las redes socio-tecnológicas se encuentran en un constante estado de tensión, por ello es necesario analizar la dicotomía, interacción y transformación entre ambos tipos de redes. Además, De Landa identifica las redes horizontales con el libre mercado y las jerárquicas con la burocracia; las primeras son más dinámicas, las segundas más estáticas, pero ninguna existe en su estado ideal, y ninguna es mejor que otra, todo depende de su objetivo y el contexto: para el autor, una actitud abierta y experimental es el llamado de la complejidad (De Landa, s. f.).

Otro frente de disputa se desarrolló entre la comunidad *maker* de Chihuahua y el grupo de la CDMX -el 5º grupo de Telegram antes mencionado- ya que el grupo de Chihuahua consideraba que desde el centro del país se querían imponer reglas y formas de hacer. El grupo de la CDMX insistía

en no intentar retomar o crear diseño propio no certificado y con altos estándares sanitarios, ya que de lo contrario solo se gastarían recursos y lo producido no tendría la calidad suficiente para cumplir con su objetivo; no tenía caso intentar imprimir ventiladores que no serían aprobados por las autoridades sanitarias de México. Por ello demandaban esperar a que la comunidad *maker* de España les compartieran los archivos de diseño “oficiales” aprobados por las autoridades sanitarias de la Unión Europea, lo cual tal vez facilitaría que también fueran aprobados en México. En cambio, el grupo de Chihuahua consideraba que debían de encaminar todos sus esfuerzos en bajar archivos disponibles de los repositorios digitales para imprimir ventiladores y hacer los ajustes correspondientes de acuerdo a las necesidades locales.

Como es sabido, el problema de la estandarización de los dispositivos médicos para la protección o el combate del COVID-19 no se limita a que estos sean hechos con material de calidad o que sean funcionales, sino que antes de ser utilizados, deben ser aprobados por la Cofepris (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). Esto debido a que su uso puede implicar un riesgo sanitario, más que una ayuda, para los pacientes infectados, tal sería el caso de los *spliters* y ventiladores, no así el de las caretas. En consecuencia, para la comunidad *maker* de México fue más fácil incursionar en la impresión de dispositivos para la protección sanitaria -caretas-, no así los de atención médica -*spliters* o ventiladores-. Empero, se entiende que en buena medida el problema no radicaba en las capacidades para la producción de los *makers*, sino en lo estricto de las reglas mexicanas para su aprobación, lo cual suscitó un debate público entre la comunidad de *maker*, políticos y la Cofepris (Pérez, 11 de abril de 2020).

Antes de pasar a la siguiente sección presentaremos dos iniciativas impulsadas desde Tijuana con la finalidad de producir caretas para prevenir el contagio de COVID-19. La primera de estas fue ubicada al interior del Fab Lab Tijuana, antes Casa de la Tribu⁷. Desde el inicio de la pandemia este laboratorio recibió a diversos actores que buscaban desarrollar soluciones frente a la pandemia. Dentro de la diversidad de actores que se acercaron al Fab Lab destaca el director de un centro comunitario local que buscó en este espacio asesoría técnica para la elaboración de caretas, proyecto que concluyó con éxito gracias al apoyo de diversos miembros del centro comunitario que dirige. Otro grupo destacado fue el de estudiantes de la UABC que buscaron asesoría sobre cómo utilizar la tecnología 3D para diseñar e imprimir dispositivos que pudieran atender, mitigar o proteger frente a la pandemia, sin embargo, no lograron concretar ningún proyecto, al menos no lo hicieron utilizando la maquinaria del Fab lab. Un tercer actor que se acercó a este espacio fueron funcionarios del gobierno estatal a través de la Secretaría de Economía, quienes pidieron al Fab lab que formara parte de un equipo multidisciplinario para el desarrollo de un prototipo de ventilador. En el proyecto participaron diversos actores; desde científicos hasta ingenieros, médicos y empresarios que tuvieron múltiples reuniones semanales a lo largo de dos meses para cumplir con el encargo. Durante este tiempo, Salas, encargado técnico del Fab lab fungió como gestor de la red de actores y coordinador de las juntas equipo. Algunos de los respiradores que inspiraron la propuesta de requerimientos desarrollada fueron bajados de repositorios digitales abiertos. Sin embargo, el proyecto nunca imprimió un ventilador, ya que este no era el objetivo final del mismo; su trabajo se limitó a la documentación de los requerimientos. Los avances alcanzados por el equipo quedaron registrados y bajo resguardo de las autoridades gubernamentales:

7- El Fab lab Casa de la Tribu fue impulsado en 2018 por la Universidad Iberoamericana de Puebla en conjunto con USAID, la Fundación Slim y otras organizaciones a nivel local. En la actualidad lo administra la Asociación Civil Tijuana Innovadora.

Entonces todo ese equipo no se forma precisamente para fabricar sino para formar un tipo listado de cuales con los componentes adecuadas para construir estas bombas [ventiladores] y los materiales necesarios para las partes y las variables adecuadas para programar estas bombas, porque es necesario conocer la presión de oxígeno que debe entrar a los pulmones, tiempo de inhalación y exhalación. Además, muchas máquinas que se estaban haciendo en ese entonces no estaban pensadas para que la manguera de salida tuviera esa pieza que va insertada en la garganta en caso de requerirse. (S. Salas, 15 enero 2021)

La segunda iniciativa a destacar fue impulsada por la organización Kilómetro 1, la cual se enfoca a la preservación de las playas con el apoyo de diversos actores y organizaciones. Debido a que como parte de sus actividades los miembros de Kilómetro 1 recolectan plásticos de las costas, sus miembros decidieron utilizarlos en primera instancia como materia prima para la elaboración de caretas, aunque poco a poco el proyecto fue cambiando debido a su desconocimiento inicial respecto a las implicaciones del proceso de transformación de esta materia para utilizarla como insumo para la producción de caretas. Un rol destacado en el proyecto lo tuvo Acuña, estudiante de la Maestría en Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño (FIAD) de la Universidad Autónoma de Baja California, quien tenía experiencia en el reciclado de plásticos gracias a un emprendimiento que había impulsado en una incubadora de la propia universidad (Flores Rizo, 11 de febrero de 2021). Por su parte, Santamaría, estudiante de la Maestría en Administración Integral del Ambiente (MAIA) de El Colegio de la Frontera Norte (El Colef) y miembro fundador de Kilómetro 1, gestionó un pequeño recurso económico con un diputado local. Al inicio exploraron la posibilidad de imprimir las caretas con impresoras 3D, sin embargo, después de asesorarse decidieron que era mejor crear un molde y utilizar el método de inyección de plásticos, ya que la otra alternativa era técnicamente complicada, lenta y costosa. Después de un mes de prueba y error finalmente pudieron producir unos pocos cientos de caretas y distribuirlas entre personal médico, funcionarios públicos y miembros de la comunidad universitaria:

La producción de cada careta de los que tenían la impresión 3D que era la competencia si lo ves como una empresa era más alta, es más fácil inyectar plástico aunque es más laborioso a usar la impresora 3D ya que esta lleva más tiempo, en cambio aquí en una hora que gastaba una impresora 3D, aquí se hacían 15 caretas en menos de una hora. Se podía medir el tiempo. (O. Santamaría, 13 diciembre 2020)

Desde la perspectiva de los impulsores de esta iniciativa, si bien los costos originalmente planeados fueron mayores y la producción menor a la esperada, el proyecto resultó exitoso ya que fue una especie de experimento que les permitió comprender cómo manejar los materiales para reciclarlos, así como calcular mejor los costos y las tecnologías implicadas, por lo que consideran que en proyectos futuros serán más eficaces y podrán ir escalando hacia un modelo de economía circular. Este proyecto además demuestra que la impresión 3D no siempre es la solución más eficaz, sino que en ocasiones existen alternativas para generar productos artesanales similares a menor costo y con mayor rapidez.

Cerramos esta sección revisando el caso de Ford México y su incursión a la producción de caretas para la protección frente a la COVID-19. Hacia abril de 2020 en su planta de Chihuahua para fabricar motores la compañía arrancó un proyecto para producir 100 mil caretas: “Dicha producción será denominada “Proyecto México” como parte de su compromiso por mantener en movimiento al país, y con el cual pretende proporcionar sus capacidades de fabricación para incrementar rápidamente el desarrollo de este material médico y así, mantener el “motor del país encendido” y ayudar a los servicios de salud a evitar la propagación del COVID-19 con escudos faciales” (Pérez, 21 de abril de 2020). El proyecto México de Ford es un ejemplo de la gran capacidad de organización, conocimiento y recursos con los que cuentan algunas EMN para la reconversión productiva frente a la pandemia; mientras el esfuerzo de cientos de *makers* mexicanos en cuatro semanas de trabajo había logrado producir 30 mil caretas, la planta subsidiaria de Ford en México triplicaría la producción del mismo objeto en un periodo similar de tiempo, hecho que señala el gran abismo de capacidades de producción que existe entre la organización ciudadana distribuida Vs. la producción centralizada y coordinada por una sola empresa multinacional.

4. Las Pymes intensivas en conocimiento y la impresión de dispositivos médicos

Las pymes intensivas en conocimiento son “compañías y organizaciones que dependen en gran medida del conocimiento profesional, es decir, conocimiento o experiencia relacionada con una disciplina (técnica) específica o dominio funcional (técnico) para suministrar productos intermedios y servicios basados en conocimiento” (Hertog, 2000, p. 505, traducción propia). Este es el caso de algunas pymes mexicanas que se especializan en el diseño e impresión de dispositivos médicos. Dichas empresas están conformadas en su mayoría por personal ampliamente especializado -ingenieros, científicos- y por lo común fueron constituidas por algún tipo de desprendimiento o *spin-off* de Empresas Multinacionales (EMN) establecidas en el país.

En cuanto al rol de las pymes intensivas en conocimiento que poseen tecnologías de impresión 3D en México y sus acciones frente a la pandemia se identificó a 3DMarket como una de las más activas en la organización de actores para la impresión de caretas. 3DMarket siguió una estrategia muy similar a la del grupo *Coronavirus_maker_mx*, es decir, que habilitó una plataforma para que los actores con impresoras se registraran, aquellos que necesitaban equipo lo requirieran y los donantes pudieran hacer sus contribuciones. La diferencia de esta empresa con otras iniciativas, es que era a la vez proveedora de los insumos para la impresión de las soluciones. Es decir que su estrategia ofrecía a los donantes paquetes conformados por los propios productos que ellos vendían, de tal manera que la distinción entre la ayuda desinteresada y el beneficio económico particular no era clara. No obstante, esta era una alternativa ante la carencia de filamento que experimentaron algunos *makers* mexicanos durante los primeros meses de la contingencia.

Al momento de revisar la página de 3DMarket hacia el mes de abril 2020 habían recibido apoyo para la compra de 1,410 insumos para donación. El paquete más básico para producir 30 caretas costaba \$990 y constaba de lo siguiente: filamentos 1 kg, acetatos 30 láminas, transporte para envío y empaque para envío. Hasta el 17 de abril de 2020 su iniciativa había producido 1,156 caretas y tenía registradas 176 impresoras. Sin embargo, tenían 8,800 requerimientos de apoyo, es decir que les faltaba

mucha capacidad para dar respuesta a quienes requerían del equipo sanitario impreso en 3D (3D Market MX Store, s. f.). Además, si tomamos en cuenta que el costo unitario de cada careta ascendía a 33 pesos y que, con el tiempo, en el mercado nacional se comenzaron a ofrecer caretas por igual o menor costo, se entiende porque la estrategia de esta pyme -y los *makers*- dejó de ser atractiva. No obstante, como veremos más adelante, fue gracias a una pyme intensiva en conocimiento similar a 3DMarket, como México logró desarrollar el ventilador Ehécatl 4T, el primer ventilador “100% mexicano” al cual se le otorgaría una patente del Estado.

5. Ehécatl 4T y Gätsi

Por instrucción presidencial, el 24 de abril de 2020, Álvarez-Bullya, directora de Conacyt anunció que la institución

“asumió la responsabilidad de coordinar el diseño y manufactura de ventiladores 100% mexicanos, necesarios para atender a pacientes críticos de COVID-19 en todo el país. Con la colaboración de distintos centros públicos de investigación del Conacyt y la participación solidaria de diversas empresas de la industria aeroespacial, automotriz y otras, los primeros 700 ventiladores podrán estar listos para la segunda quincena de mayo”. (El Financiero, 23 de abril de 2020)

Dicho esfuerzo se llevaría en coordinación con la Secretaría de Salud y debían pasar por la aprobación de Cofepris. Inicialmente las empresas participantes serían Dydetec, Mabe, Zodiac Aerispace y diversas empresas automotrices asentadas en Querétaro. Desde nuestra perspectiva esta iniciativa es ejemplo de una red socio-técnica localizada, jerárquica y centralizada (De Landa, s.f.), en seguida explicamos su configuración.

A partir de la coordinación de los actores de las cuatro hélices antes expuestos, los dos modelos de ventiladores resultantes fueron Ehécatl 4T y Gätsi. El primero desarrollado a partir de un prototipo del MIT de acceso abierto y el segundo devino de un diseño cerrado desarrollado por una pyme mexicana. Dichos modelos contrapuestos pueden ser utilizados como ejemplo de dos formas particulares para impulsar desarrollos tecnológicos en el país ante la contingencia de la COVID-19; uno (Ehécatl 4T) retoma desarrollos del exterior y los adapta a las necesidades locales, el otro (Gätsi) crea a partir del conocimiento generado de forma endógena y acelera su escalamiento gracias al sistema regional y nacional de innovación. En seguida explicamos las particularidades de ambos desarrollos:

Ehécatl 4T (Dios del viento en la mitología mexica): Este ventilador partió del diseño abierto del MIT mencionado anteriormente y que también fue retomado por algunos miembros del movimiento Cornoavirus_maker de España. En el caso mexicano el prototipo del MIT fue retomado y adaptado por el Cidesi. Empero, es importante considerar que una cosa es bajar el archivo y otra es tener la capacidad de reproducirlo y adaptarlo a las necesidades locales.

El ventilador desarrollado por Cidesi a partir de dicho prototipo fue uno de tipo invasivo y particularmente adecuado para pacientes adultos. Una de las ventajas del Ehécatl 4T es que no requiere de una entrada externa de gases entubados ya que opera a través de una estructura que imita un pulmón,

lo cual lo hace un equipo muy amigable y relativamente sencillo de operar. Debido a lo anterior, en algún sentido Ehécatl 4T podría identificarse con una innovación del “norte global” adaptada a las necesidades del “sur local” ya que podría llegar a funcionar en hospitales de pequeños municipios que no tienen una infraestructura robusta y de calidad para proveer incesantemente gases entubados, además de que no se necesita gran *expertise* para su manipulación.

Debido a que el proyecto fue impulsado por un CPI, en su presentación pública la directora de Conacyt informó que este modelo tendría una patente del Estado, sin embargo, hasta finales de 2020 no existía información precisa sobre dicha patente y cómo fue posible obtenerla de forma acelerada, ya que este tipo de trámites por lo común toman años en ser concluidos. Por otra parte, cabe preguntarse si un ventilador inspirado en un prototipo de acceso abierto puede ser considerado como un desarrollo 100% mexicano.

Gätsy (Suspiro en otomí): partió de un prototipo con el que ya contaba la pyme mexicana Dydetec. En este sentido Gätsy es una innovación cerrada y preexistente que Conacyt ayudó a escalar aceleradamente frente a la pandemia mediante la coordinación de diversos agentes del Sistema Nacional de Innovación (SNI). Este ventilador es para uso pediátrico y también funciona en adultos. Su operación requiere de una entrada externa de gases entubados, ya que en esencia el ventilador es un controlador de flujos de gases que provienen de las tuberías de los hospitales. En términos generales “se trata de un ventilador mecánico de tipo invasivo, con alto grado de seguridad biomédica, sensores de control y monitoreo de ventilación por volumen y presión, en sus modos controlado, asistido, sincronizado y espontáneo” (La Jornada, 3 de agosto de 2020).

Destaca que Dydetec es una pyme intensiva en conocimiento conformada por jóvenes ingenieros de origen mexicano. La empresa se presenta en su página web con la siguiente leyenda: “En cada suspiro Gätsy está contigo” y a la pregunta ¿Qué hacemos? Dydetec responde: “Facilitamos el diseño y desarrollo de proyectos de software, hardware y firmware, e industria 4.0. Complementamos con Diseño mecánico, gráfico e Industrial” (Dydetec, s.f.).

¿Hay más Dydetecs en México? Según investigaciones realizadas desde El Colef, se han identificado cerca de 2 mil pymes intensivas en conocimiento en el país, vinculadas al sector automotriz, aeroespacial, médico, entre otros (Contreras y Carrillo, 2020). Este tipo de empresas por lo general son *spin-offs* que presentan amplias capacidades científicas y tecnológicas. En ocasiones estos *spin-offs* solo necesitan de acciones como la desarrollada por Conacyt para hacer que sus prototipos e invenciones se materialicen en productos y servicios de origen mexicano conectados a las Cadenas Globales de Valor (CGV) y, en el mejor de los casos, como lo fue el de Dydetec, ayudar a salvar vidas en momentos de emergencia como la pandemia.

Es importante mencionar que en el desarrollo de Gätsy también participó la EMN de aeronáutica (Safran, 2018) y la mexicana Biosmann, enfocada al desarrollo de dispositivos médicos (Safran, 2018). La empresa Safran con sede en Chihuahua ayudó a ensamblar los equipos sin fines de lucro. De igual manera es relevante señalar que en el desarrollo de los dos modelos de ventiladores antes presentados apoyaron diversas instituciones públicas y privadas en múltiples fases, entre las que destacan la empresa alemana Prettl, especializada en soluciones eléctricas, instituciones del Sector Salud y diversos centros públicos de investigación del Conacyt; es decir que fue gracias a la integración de actores de diversas hélices -gobierno, academia y empresas- promovida por Conacyt como fue posible el desarrollo acelerado de los primeros ventiladores mexicanos durante la pandemia.

La producción final de ambas versiones fue de 1,000 ventiladores -500 de cada modelo- y según cálculos de Conacyt su precio disminuyó entre 60% y 70% en comparación con la competencia en el mercado. También se calcula que el tiempo de producción disminuyó en prácticamente 10 veces, ya que desarrollar este tipo de proyectos toma hasta cinco años, y en este caso se alcanzó la meta en cinco meses. Los ventiladores fueron distribuidos en diversas zonas de México, privilegiando las más necesitadas. La iniciativa ha beneficiado inclusive a otros países de Centroamérica y el Caribe, a donde se han donado algunas unidades por parte del gobierno mexicano.

Conclusiones

El nacimiento de la industria nacional de ventiladores en México fue impulsado en buena medida gracias a una pyme intensiva en conocimiento, de las cuales existen cerca de 2 mil en el país (Contreras y Carrillo, 2020) y según datos recabados en campo, estas empresas reciben poco o nulo apoyo gubernamental. De hecho, en campo hemos encontrado que algunas pymes intensivas en conocimiento no creen en los programas de gobierno dirigidos a este sector empresarial porque en el pasado han sido fondos mal destinados e inclusive relacionados con actos de corrupción (Matus y Carrillo, 2021). Por ello, se considera necesario generar una nueva estrategia desde lo gubernamental para apoyar a este tipo específico de pymes, las cuales tienen amplio potencial para escalar rápidamente, integrarse a las CGV y ser impulsoras de desarrollos tecnológicos *made in Mexico*. Este tipo de pymes deben de ser impulsadas por el ecosistema nacional y regional de innovación, niveles desde donde es posible acelerar la debida transferencia tecnológica y promover el escalamiento e inclusive llegar a patentar el primer ventilador nacional en cinco meses para que naciera una industria mexicana dedicada a salvar vidas: Gätsy.

Por otra parte, es importante reconocer que este tipo de empresas -pymes intensivas en conocimiento - por lo general presentan dos trayectorias; son *startups* y en la mayoría de los casos *spin-offs* (García, 2020). En tanto las primeras suelen generar sus desarrollos tecnológicos de manera relativamente autónoma y se alimentan del Ecosistema Regional de Innovación (ERI), las segundas son impulsadas por desprendimientos de la EMN, son *spin-offs*, generados a través de derramas de conocimiento, y por ello, es posible decir que en algún sentido las EMN participan, aunque de forma indirecta, en el desarrollo de este tipo de innovaciones tecnológicas; este es un complejo ecosistema socio-técnico de innovación mundial del cual se beneficia México gracias al gran número de EMN que se han establecido en el país. Por ello, cabría preguntarse si es posible promover un mayor número de derramas de conocimiento y desprendimientos de las EMN asentadas en México para acelerar la generación de pymes intensivas en conocimiento que desarrollen tecnología *made in Mexico* (Matus et al, 2018): Las alianzas público-privadas pueden aportar mucho a la ciencia y a la tecnología mexicana.

Algo similar sucede con el caso de Ehécatl 4T: es gracias al conocimiento generado por instituciones internacionales como el MIT y el hecho de que este conocimiento sea de acceso abierto y documentado en repositorios digitales, lo que posibilitó que su adaptación y desarrollo en México fuera acelerado. Lo anterior sugiere que no se trata de crear tecnología nacional y soberana desde cero, ya que esto es prácticamente imposible con los escasos recursos que se le destinan a este sector de la ciencia y tecnología en el país; una alternativa es beneficiarse de las redes de innovación de las EMN y

sus derramas a través de los *spin-offs* facilitando su operación y escalamiento con el apoyo del Estado. Para ello es necesario generar mecanismos para acelerar la derrama y transferencia de tecnología y conocimiento de las EMN hacia las pymes intensivas en conocimiento del país, y apoyar a estas últimas para que escalen sus desarrollos lo más rápido posible y se patente más, se creen más industrias nacionales y se cree un México más soberano tecnológicamente y científicamente, pero conectado al mundo y a la sociedad del conocimiento.

En cuanto a los desarrollos alcanzados por el movimiento *coronavirus_maker_mx* en el contexto de la pandemia, es importante destacar que demostraron una gran capacidad de respuesta ante la emergencia: autoorganización para el registro de especificaciones tecnológicas, búsqueda de recursos, capacidad de manufactura distribuida para la impresión de caretas y su distribución acelerada. Sin embargo, no fueron capaces de concretar proyectos más complejos tecnológicamente, en parte debido a que no tuvieron el apoyo gubernamental para hacerlo, y en particular de las autoridades sanitarias; fueron incapaces de pasar de una red abierta, distribuida y horizontal a otra cerrada, centrada y jerárquica; una alternativa es beneficiarse de las redes de innovación de las EMN y sus derramas a través de los *spin-offs*, facilitando su operación y escalamiento con el apoyo del Estado. Algunos de los prototipos propuestos por los *makers* de México y otras latitudes, partían del mismo modelo utilizado para el desarrollo de Ehécatl 4T por parte de Cidesi, es decir, el del MIT. Sin embargo, los actores gubernamentales no confiaron en la capacidad distribuida de cientos de *makers* a nivel nacional (*Coronavirus_maker_mx*) y miles a nivel internacional (*Coronavirus_maker*) para discutir, documentar, diseñar y prototipar de forma acelerada soluciones de esta naturaleza. Por ello, consideramos necesario que el gobierno cambie su actitud ante estos actores emergentes, quienes desde nuestra perspectiva, gracias a su comprensión y uso del CAD y CAM, forman parte de sistemas distribuidos de innovación que conectan el conocimiento tecnológico y las capacidades locales con las globales de forma más eficaz en comparación con los sistemas tradicionales de innovación –regionales, sectoriales, nacionales, etc.- En este sentido, son necesarios nuevos arreglos entre las instituciones científicas tradicionales, el gobierno y los *makers*, que aseguren que las capacidades de estos últimos sean fortalecidas por los primeros, ya que sus desarrollos, aunque en forma de prototipos para la emergencia, si son bien direccionados y arropados por el gobierno, pueden ayudar a salvar vidas y tienen mucho que aportar para el desarrollo de tecnología nacional basada en la ciencia abierta.

Referencias

- 3DHUBS. (s. f.). *Custom parts for engineers worldwide*. Protolabs. <https://www.3dhubs.com/>
- 3D Market MX Store (s. f.). *Impresora 3D México*. 3D Market MX Store. <https://www.3dmarket.mx/>
- 3D Systems. (s. f.). *Nuestra historia*. 3D Systems Corporation. <https://es.3dsystems.com/our-story>
- Agencia EFE Noticias. (6 de febrero de 2020). *Se crea la primera Asociación Mexicana de Manufactura Aditiva y Tecnología 3D*. Agencia EFE. <https://www.efe.com/efe/america/comunicados/se-crea-la-primera-asociacion-mexicana-de-manufactura-aditiva-y-tecnologia-3d/20004010-4167736>

- Alcántara, V. (agosto, 2018). Red de manufactura Aditiva impulsa la adopción de esta tecnología en México. *Metalmecánica Internacional*. <https://www.metalmecanica.com/temas/Red-de-Manufactura-Aditiva-impulsa-adopcion-de-esta-tecnologia-en-Mexico+126725>
- Batteau, A. (2010). Technological Peripheralization. *Science, Technology, and Human Values*, 35(4), 554-574.
- Berger, T. y Frey, C. B. (2016). Structural Transformation in the OECD. Digitalization, Deindustrialisation and the Future of Work. *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, 193, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/1815199X>
- Canacindra (2016). *Diagnóstico para el desarrollo de procesos de fabricación de manufactura aditiva*. Cámara Nacional de la Industria de Transformación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/189123/0018-F-13032015_Diagn_stico_para_desarrollo_de_procesos_de_fabricaci_n_de_manufactura_aditiva._Parte_1.pdf
- Conacyt (19 de diciembre de 2018). *Presentan nuevo consorcio de manufactura aditiva*. Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial [Cidesi]. <https://www.cidesi.com/site/presentan-nuevo-consorcio-de-manufactura-aditiva/>
- Conacyt (2020). *Conmad: Consorcio de manufactura aditiva*. <https://centroconacyt.mx/consorcio/conmad/>
- Contreras, O., y Carrillo, J., (2019). Transferencia de conocimiento e innovación en pymes tecnológicas mexicanas: Aproximación al spin-off. *Comercio Exterior. Bancomext*, (20), 38-41. <http://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=909&t=transferencia->
- Coronavirus Maker México (2020a). *Open source to live*. Vanilla Forums. <https://foro.coronavirus-makers.org/>
- Coronavirus Maker México (2020b). *Index and discussions*. Vanilla Forums. <https://foro.coronavirus-makers.org/index.php?p=/discussions/p2>
- Coronavirus Maker México (2020c). *Yo soy Maker*. Vanilla Forums. <https://coronavirusmakers.mx/maker.html>
- CRIMT (2019). *Introduction to CRIMT Partnership Regional Template Workshops* Interuniversity Research Centre on Globalization and Work.
- Cutcher-Gershenfeld, J., Gershenfeld, A., and Gershenfeld, N. (2018). Digital Fabrication and the Future of Work. En *Perspectives on Work, Labor and Employment Relations Association*, (pp. 8-13). Labor and Employment Relations Association. <https://cba.mit.edu/docs/papers/19.01.POW.pdf>
- Discord app (s.f.). *Tu sitio para hablar*. <https://discord.com/>
- Dydetec (s.f.). *Que hacemos*. <https://www.dydetec.com.mx/>
- El Financiero (23 de abril de 2020). *Conacyt construye 700 ventiladores para COVID-19; estarán listos para el 15 de mayo*. <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/conacyt-construye-700-ventiladores-para-covid-19-estaran-listos-para-el-15-de-mayo/>
- Fabfundation (s.f.). *Fab Lab Network*. <https://fabfoundation.org/global-community/>
- Flores Rizo, D. (11 de febrero de 2021). Recibe UABC Campus Ensenada donativo de máscaras de protección facial. *Gaceta UABC*. <http://gaceta.uabc.mx/notas/academia/recibe-uabc-campus-ensenada-donativo-de-mascaras-de-proteccion-facial>

- Frey, C. and Osborne, M. (1 de Septiembre de 2013). *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?* Oxford University. <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/the-future-of-employment/>
- Fry, W. (12 de Abril de 2020). Hecho en México: El ventilador que podría salvar tu vida. *Los Angeles Times*. <https://www.latimes.com/espanol/mexico/articulo/2020-04-12/hecho-en-mexico-el-ventilador-que-podria-salvar-tu-vida>
- García, M. (2020), Los tipos de empresa de base tecnológicos: spon-offs y starups ¿Qué políticas deben impulsarse?. *Comercio Exterior. Bancomex*, (20), 42-45. <https://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=910&t=los-tipos-de-empresa-de-base-tecnologica-spin-offs-y-starups-que-politicas-deben-impulsarse>
- Gershenfeld, N. (2005). *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop – from Personal Computers to Personal Fabrication*. Basic Books.
- Gershenfeld, N. (2012). Making Computers Like Watson Faster, Smaller and Smarter–Bits and Atoms. *Bulletin of the American Physical Society*, (57).
- Gershenfeld, N., Gershenfeld, A., y Gershenfeld, J.C. (2017). *Designing Reality: How to Survive and Thrive in the Third Digital Revolution (English Edition)*, Basic Books.
- Gomis, R., Hualde, A. y Matus, M. (2019). Pymes intensivas en conocimiento y digitalización. *Comercio Exterior. Bancomex*, (20), 46-49. <http://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=911&t=pymes-intensivas->
- Hacedores (7 de julio de 2014). *¿Qué es el movimiento maker?*. <https://hacedores.com/movimiento-maker/>
- Hacedores (s. f.). *Antonio Quirarte*. <https://hacedores.com/author/antonioquirarte-com/>
- Herbert, A. S. (1969). *The Science of the Artificial*. The MIT Press.
- Heras, A. (23 de abril de 2020). Mueren 37 pacientes de coronavirus en BC; van 133. *La jornada*. <https://www.jornada.com.mx/ultimas/estados/2020/04/23/mueren-37-pacientes-de-coronavirus-en-bc-van-133-2758.html>
- Infotec (s.f.). *Investigación*. Conacyt. <https://www.infotec.mx/>
- Jacaranda Education (s.f.). *Diseño y gestión de programas educativos en México desde 2006*. <https://www.jacarandaeducation.org/>
- Kagermann, H., Wahlster, W., y Helbig, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. ACATECH and forchungsunion. Federal Ministry of Education and research.
- La Hora Maker (s.f.). *Respiradores DIY - ¿Qué sabemos día de hoy?*. [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=i0NWzQ7DqMc>
- La Jornada (3 de agosto de 2020). Entregan primeros 275 ventiladores de Conacyt para atender Covid-19. *La Jornada Redacción*. <https://www.jornada.com.mx/ultimas/politica/2020/08/03/entregan-primeros-275-ventiladores-de-conacyt-para-atender-covid-19-4068.html>
- Landa de, Manuel (s.f.). *Meshworks, hierarchies and interfaces*. Zero News Datapool. <http://www.t0.or.at/delanda/meshwork.htm>

- Lévi-Strauss (1964). *El pensamiento salvaje*. Fondo de Cultura Económica. https://ses.unam.mx/docencia/2018/Levi-Strauss1997_ElPensamientoSalvaje.pdf
- Matus, M., y Carrillo, J. (2021). Las Pymes intensivas en conocimiento de Ciudad Juárez: Diversidad de trayectorias, prácticas y entendimientos sobre la I4.0. *Frontera Norte*, 33.
- Matus, M., Colobrants, J., y Serra, A. (2020). Los fab lab o la programación del mundo físico: Entre el bricoleur y el bricoler. *Economía Creativa*, (13), 10-35. <https://doi.org/10.46840/ec.2020.13.01>
- Mikhak, B., Lyon, C., Gorton, T., Gershenfeld, N., McEnnis, C., and Taylor, J. (2002, December). *Fab Lab: an alternate model of ICT for development*. 2nd international conference on open collaborative design for sustainable innovation, 17, 1-7. <https://cba.mit.edu/events/03.05.fablab/fablab-dyd02.pdf>
- Long, N. (2007). *Sociología del desarrollo: una perspectiva centrada en el actor*. CIESAS.
- Pastor, J. (2015). *Altair 8800: todo comenzó hace ya 40 años*. Xataka. <https://www.xataka.com/historia-tecnologica/altair-8800-todo-comenzo-hace-ya-40-anos>
- Peek, N., y Moyer, I. (2017, March 20-23). Popfab: A case for portable digital fabrication. *Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, 325-329. DOI: <https://doi.org/10.1145/3024969.3025009>.
- Pérez, F. C. (11 de abril de 2020). Makers México imprime soluciones 3D contra COVID-19. *Quadratin México*. <https://mexico.quadratin.com.mx/makers-mexico-imprime-soluciones-3d-contra-covid-19/>
- Pérez, S. R. (21 de abril de 2020). Ford inicia la producción de escudos faciales en su planta de Chihuahua. *La jornada*. <https://www.jornada.com.mx/ultimas/tiempo-de-industria/2020/04/21/ford-inicia-la-produccion-de-escudos-faciales-en-su-planta-de-chihuahua-954.html>
- Pineda, M. (2020). *Crean la Asociación Mexicana de Manufactura Aditiva y 3D*. *Modern Machine Shop México*. Modern Machine Shop Mexico. <https://www.mms-mexico.com/noticias/post/crean-la-asociacion-mexicana-de-manufactura-aditiva-y-3d->
- Plastic Technology México. (2018). *Millonaria inversión en centro de manufactura aditiva en México*. Gardner Business Media. <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/millonaria-inversion-en-centro-de-manufactura-aditiva-en-queretaro>
- Pranky, M. (October, 2001). Digital Natives, Digital Immigrants. *On the Horizon*, 9(5), 1-6.
- Riquelme, R. (12 de octubre de 2019). Manufactura aditiva, la gran apuesta de la industria 4.0 en México. Hannover Messe México. *El Economista*. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Manufactura-aditiva-la-gran-apuesta-de-la-industria-4.0-en-Mexico-20191012-0014.html>
- Safran (2018). *Safran en México*. SAFRAN. <https://www.safran-group.com/country/mexico.html>
- Secretaría de Economía [SE]. (2017). *Diagnóstico para el desarrollo de fabricación de manufactura aditiva*. PROIAT [Programa de Apoyo para la Mejora Tecnológica de la Industria de Alta Tecnología]. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/189123/0018-F-13032015_Diagnostico_para_desarrollo_de_procesos_de_fabricacion_de_manufactura_aditiva_Parte_1.pdf
- Steve, O. (2020). *Cofepris aprueba el primer respirador para combatir COVID-19 hecho en México: lo diseñó Conacyt y se fabricará en Querétaro*. Xataka México. <https://www.xataka.com/medicina-y-salud/empresa-aeroespacial-francesa-fabricara-primer-ventilador-hecho-conacyt-para-hacer-frente-al-covid-19-mexico>

- Tovar, E. (2019). *Retos y alcances de la manufactura aditiva. Modern Machine Shop México. Modern Machine Shop Mexico*. <https://www.mms-mexico.com/articulos/retos-y-alcances-de-la-manufactura-aditiva>
- Ventilaid (2020). *La visión de los proyectos*. VENTILAID. <https://www.ventilaid.org/es/sobre-nosotros/#vision>
- Wolfgang, D. (Coord.), (2016). *Implementation Strategy Industrie 4.0 Report on the results of the Industrie 4.0 Platform*. Bitkom e.V.