

TRES MARCOS DE POLÍTICA DE INNOVACIÓN: I+D, SISTEMAS DE INNOVACIÓN Y CAMBIO TRANSFORMATIVO

Johan Schot, W. Edward Steinmueller

Science Policy Research Unit (SPRU),
Universidad de Sussex,
Reino Unido

Research Policy 47 (2018) 1554-15567

Tres marcos de política de innovación: I+D, sistemas de innovación y cambio transformativo

Johan Schot*, W. Edward Steinmueller

Science Policy Research Unit (SPRU), Universidad de Sussex, Reino Unido

Palabras clave:

Transformación

Objetivos del Desarrollo Sostenible

I+D

Sistemas nacionales de innovación

Política de Innovación

*Autor de contacto

Correo electrónico: j.w.schot@uu.nl (J. Schot).

Esta traducción fue realizada por Paloma Bernal Hernandez. Agradecemos a Diana Velasco y Oscar Romero por la edición de este manuscrito.

Resumen

La política de ciencia, tecnología e innovación (CTel) está determinada por marcos que han surgido y persistido a través de la historia. Existen dos marcos ya establecidos que se reconocen como marcos coexistentes y dominantes en las discusiones contemporáneas de la política de innovación. El primer marco surgió después de la Segunda Guerra Mundial y se caracterizó por institucionalizar el apoyo gubernamental a la ciencia y la I+D. El supuesto principal de este marco es que el apoyo gubernamental debe contribuir al crecimiento económico y abordar las fallas del mercado. Esto se logra propiciando la generación de nuevo conocimiento desde el sector privado. El segundo marco surgió en el contexto de la globalización durante la década de los 80s y también enfatiza la competitividad, en este caso, determinada por el sistema nacional de innovación para la creación de conocimiento y la comercialización. En este marco la política de CTel se centra en crear vínculos, clústeres y redes; estimular el aprendizaje entre los elementos del sistema y facilitar el emprendimiento. Un tercer marco se asocia con los desafíos sociales y ambientales, tales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible, y, a diferencia de los dos marcos anteriores, hace un llamamiento al cambio transformativo. La transformación se refiere a un cambio sociotécnico, término que se encuentra conceptualizado en la literatura de transiciones¹. Este tercer marco es examinado con el fin de identificar sus características y su potencial y, de esta manera propiciar una reevaluación de los dos marcos anteriores. Una característica clave de este marco es su enfoque en experimentación, y su argumento de que los países del sur global no necesitan seguir el modelo de transformación del norte global. Aquí se sostiene que los tres marcos son relevantes para la formulación de política, pero que debería priorizarse el estudio de alternativas hacia una política de innovación transformativa.

¹ Los sistemas sociotécnicos son la configuración de elementos sociales y técnicos que interactúan, evolucionan y se refuerzan conjuntamente, determinando la orientación y comportamiento de formas de producción, de uso y de consumo.

1. Introducción

Las políticas públicas, incluyendo aquellas orientadas a la ciencia y la tecnología, han surgido a través de la comprensión de experiencias pasadas, reflexionando sobre los desafíos contemporáneos y entendiendo las posibilidades de acción a futuro. Las conexiones entre el pasado, el presente y el futuro han sido interpretadas por académicos, formuladores de política y muchos otros, como una guía de análisis y acción. Estas conexiones producen potentes marcos –interpretaciones sobre experiencias, clasificación de circunstancias presentes e imaginarios sobre posibilidades futuras, las cuales crean cimientos para análisis de política y acción y moldean expectativas sobre potencialidades y oportunidades (Goffman, 1974; Benford y Snow, 2000; Taylor, 2003). Los marcos evolucionan a través del tiempo y cambian cuando se perciben inadecuados en circunstancias actuales. Debido a que estos influyen en los imaginarios de las personas, deben ampliarse más allá de la esfera de política pública para influir en la movilización y las actividades de las organizaciones no-gubernamentales así como en el sector empresarial privado e incluso en las familias y los individuos. Hay quienes argumentan que la reflexión basada en los marcos podría dificultar la acción. Basados en Schön y Reid (1994), nosotros creemos lo opuesto; es necesaria una reflexión basada sobre los marcos para diseñar e implementar soluciones efectivas de política que aborden problemas complejos de política.

El crecimiento económico moderno es generado por un grupo de sistemas sociotécnicos basados en la producción en masa industrial y el consumo en masa individualizado que extensivamente emplean combustibles fósiles, son intensivos en el uso de recursos y energía y producen una cantidad masiva de residuos. A pesar de los importantes avances logrados en cuanto a los niveles de esperanza de vida y al bienestar material de muchos países, los problemas persistentes generados por las crisis económicas y la creciente inequidad coinciden con una creciente toma de conciencia de que los actuales sistemas sociotécnicos que ayudan a cubrir nuestras necesidades básicas –en términos de alimentos, energía, movilidad, materiales, agua o recursos en general – son insostenibles. Mientras que los marcos disponibles de política de ciencia y tecnología que evolucionaron desde la Segunda Guerra Mundial siguen siendo relevantes, estos ofrecen poca orientación para afrontar las consecuencias negativas sustanciales de los sistemas sociotécnicos provenientes del crecimiento económico moderno, al cual estos marcos han contribuido y del cual ellos hacen parte.

Desde nuestro punto de vista, es el momento de articular más contundentemente y de experimentar en la práctica con los marcos de política de ciencia, tecnología e innovación que enfatizan los cambios en el sistema sociotécnico. Tres marcos relacionados con la política de ciencia y tecnología pueden ser definidos, dos de los cuales se emplean de manera sistemática en el discurso y la acción de política. Cada uno de estos marcos abarca un modelo de innovación que define los roles de los actores y describe las acciones que pueden tomarse para abordar las metas a las que ellos mismos le apuntan. El tercer marco, el cual busca un cambio en los sistemas sociotécnicos, aún permanece subdesarrollado a pesar de que ha estado presente por muchos años en el trasfondo de las discusiones de política; recientemente éste ha sido aceptado por la OCDE (2015; ver también (Steward, 2012; Weber & Rohracher, 2012 & Frenken, 2017).

El primer marco se centra en la innovación a favor del crecimiento económico, potencializando la ciencia y la tecnología de tal forma que estas promuevan y alimenten los sistemas socio-técnicos dirigidos a la producción y al consumo en masa. Esta innovación pone énfasis sobre el nuevo crecimiento económico moderno del cual Kuznets (1973) identificó dos características, en este caso, una industria de base

científica y una mejora sostenida en la productividad de los factores². En términos de política de ciencia, tecnología e innovación, sin embargo, este marco permaneció tácito o inarticulado hasta después de la Segunda Guerra Mundial, cuando los escritos de Vannevar Bush (1945) y de otros autores lo ampliaron para darle una nueva visión al rol del Estado

El segundo marco –sistemas nacionales de innovación— emergió durante la década de los 80s con el fin de abordar algunas de las consecuencias experimentadas por los estados nación a raíz del crecimiento económico moderno —la intensificación de la competencia internacional, la globalización, las probabilidades de quedarse rezagados y la promesa de *catching up*³. Similar al primer marco, algunas de las características del segundo marco estuvieron presentes de forma desarticulada durante años anteriores y fueron más influyentes en la práctica que en la teoría de política CTel. Este trabajo articula más claramente ambas racionalidades y las ubica en un contexto histórico.

Un tercer marco –cambio transformativo— está en proceso de desarrollo y sus ideas se han llegado a ser más claras en los últimos años. Las aspiraciones por un cambio transformativo fueron capturadas más recientemente por los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas publicados en el año 2015. En ellos se incluye el fin de la pobreza y la reducción de la inequidad en todas sus formas y en todo lugar, la promoción de los sistemas de consumo y producción inclusivos y sostenibles, la lucha contra el cambio climático, y mucho más⁴. Este tercer marco supone un cuestionamiento acerca de cómo usar la política de ciencia y tecnología para cubrir las necesidades sociales y para tratar las cuestiones de sociedades inclusivas y sostenibles desde un nivel más fundamental que los marcos anteriores o sus ideologías y prácticas asociadas.

El nuevo marco no necesariamente reemplaza los marcos existentes. Sin embargo, los tres marcos compiten entre sí por el imaginario de quienes formulan las políticas y, en últimas, de los ciudadanos. La legitimidad de los fundamentos y los argumentos para políticas particulares y sus consiguientes acciones están influenciadas por la prevalencia y el entendimiento de estos marcos. Nuestro objetivo en este artículo es examinar el desarrollo histórico de los tres marcos, ilustrando el surgimiento de cada marco como una respuesta al debate científico y en relación con los cambios sociales y económicos. Finalmente, argumentamos que la investigación, la experimentación, y la reflexión acerca del tercer marco deberían ser priorizadas en cualquier política CTel, ya que para nosotros la innovación abarca todo el proceso de descubrimiento científico para su uso. Aún así, no argumentamos que el primer y segundo marco se han vuelto superfluos; ellos tienen su propia racionalidad la cual es relevante hoy en día y podría ser mejorada. En la práctica real se reflejará una mezcla de estos tres marcos. Es importante, sin embargo, que los académicos y los formuladores de política tengan una discusión más profunda, comparen y reflexionen críticamente sobre los marcos ya que estos tienen impactos recurrentes en la práctica. Esta discusión está pendiente desde hace mucho tiempo. La discusión en este

² Kuznets (1973) identificó seis características que definen el crecimiento económico moderno. Las cuatro restantes son el rápido crecimiento de la población, la transformación estructural (principalmente, urbanización y cambio de agricultura a manufactura y posteriormente a servicios), los cambios ideológicos (p. ej. secularización), el incremento en el alcance global de los países desarrollados (parte de lo que ahora se ha referido como globalización), y el subdesarrollo persistente (en la época del artículo de Kuznets, la persistencia del crecimiento no-moderno en tres cuartos de la población mundial).

³ Catch-up se refiere a la capacidad que tienen las economías o países en desarrollo de cerrar la brecha con los países desarrollados en términos de productividad, ingreso y desarrollo tecnológico. Debe notarse que este y el término convergencia no deben tratarse como sinónimos aunque sus significados se traslapen.

⁴ <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> Accedido el 28/11/17.

artículo aspira a provocar y a contribuir con la reflexión crítica y, eventualmente, a inspirar nuevas prácticas de política (Schön & Reid, 1994)⁵.

2. Marco 1: innovación para el crecimiento

Las preocupaciones sobre el futuro de las economías industrializadas fueron manifestadas después de la Segunda Guerra Mundial. El potencial resurgimiento del desempleo, la inflación, y la inestabilidad económica eran algo que se temía. Los roles del estado en la movilización y la dirección del esfuerzo de guerra legitimaron la intervención estatal que previamente se había visto de manera escéptica, particularmente en los contextos británico y americano. Variaciones sustanciales en cuanto al apoyo estatal a la investigación y el desarrollo (I+D) entre países existieron previos a la guerra, y con unas cuantas excepciones, como el caso de la investigación agrícola en Estados Unidos y Europa, estos esfuerzos fueron una consecuencia directa del rol del Estado en actividades particulares tales como la defensa, las telecomunicaciones, la investigación médica, los estudios geológicos, y los trabajos de ingeniería civil (Tindemans et al., 2009; Mowery & Rosenberg, 1989). Tras la guerra, y debido a la subsiguiente Guerra Fría, hubo entusiasmo por extender el rol del Estado para que dirigiera la investigación científica, esperando que esta salvaguardara la paz y trajera beneficios industriales. Los institutos de investigación de defensa presionaron por transferir su investigación más allá del mercado militar (Galison & Hevly, 1992).

Se generó un amplio consenso en el que el Estado podría y debería jugar un rol activo en la financiación de la investigación científica, basados en la premisa que los nuevos descubrimientos científicos fluirían a través de la I+D aplicada por el sector privado. Se reconoció también que la ciencia estaba contribuyendo sustancialmente a la modernización de la industria –reemplazando prácticas artesanales y tradiciones por la continuación e intensificación de la gestión científica tal como se formulaba en el Taylorismo y el Fordismo.

La atención a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico y a su tratamiento como una inversión empresarial sugirió limitaciones que iban más allá del enfoque que se tuvo en la Pre-Guerra sobre la invención, la cual se focalizaba en las invenciones y en los inventores. Para que estas inversiones fueran recuperadas se requería que las invenciones fueran comercializadas. Ello solo ocurriría si una invención era comprada por numerosos clientes. En efecto, el marco que se había heredado del pasado y que describía el origen y la naturaleza de una invención estaba cambiando. Inicialmente, esto involucró un énfasis sobre la I+D como una inversión y planteó cuestiones sobre la tasa de adopción (o trayectorias de difusión) de nuevos productos. Para capturar estos procesos y distinguir la invención de procesos más complejos de investigación aplicada, desarrollo y comercialización, la palabra innovación comenzó a ser empleada⁶. La definición más simple de innovación en este contexto es invención comercializada⁷.

⁵ Junto con otros, los autores han desarrollado una nueva iniciativa titulada Consorcio de Política de Innovación Transformativa la cual aspira a estimular y facilitar una política de experimentación –ver www.transformative-innovation-policy.net.

⁶ Para los economistas que desarrollaban una teoría de producción para reflejar las contribuciones tecnológicas, los términos cambio técnico o tecnológico fueron empleados en paralelo pues permitieron distinguir ambas innovaciones que representaban nuevos productos y mejoras en los procesos de producción. Los términos innovaciones de proceso y producto comenzaron luego a ser utilizados como tipos de cambio tecnológico.

Al final de los 50s, el imaginario sobre los beneficios económicos de la ciencia provocaron una revisión del rol del conocimiento científico y tecnológico desde las perspectivas empírica y teórica. Empíricamente, Abramovitz (1956), Solow (1957) y otros revisaron la relación entre los factores de producción y el crecimiento económico. Abramovitz y Solow demostraron que la contribución del crecimiento del factor trabajo y el capital se quedaban cortos en explicar el crecimiento económico, dejando un gran residuo que Solow atribuyó al cambio tecnológico. Abramovitz se refirió a este residuo como “una especie de medida de nuestra ignorancia sobre las causas del crecimiento de Estados Unidos” (p.11). En términos de política de ciencia y tecnología, este trabajo pareció confirmar los beneficios que la ciencia le proporcionaba a la economía. Los resultados fueron reforzados con la aparición de artefactos novedosos tales como televisores de venta masiva, aviones de aerolínea para el transporte de pasajeros y, de manera sombría, misiles balísticos intercontinentales. La importancia de los residuos provocaron que el interés de los científicos sociales y de los responsables de la formulación de las políticas se incrementara durante los procesos de cambio tecnológico. Esto también condujo a que se revisaran los fundamentos de la intervención pública en la investigación empresarial.

2.1. Fundamento/Justificación para la intervención de política

Cuando se reconoció explícitamente que la inversión era un requerimiento para la ciencia y que el factor más importante en el crecimiento económico era el cambio tecnológico, se empezaron a presentar cuestionamientos teóricos entre los economistas. Fue en este contexto en el que Nelson (1959) y Arrow (1962) se preguntaron –¿son los incentivos de los actores del mercado adecuados para producir el nivel de conocimiento científico socialmente deseado? la respuesta negativa a esta pregunta reflejó la naturaleza del conocimiento científico (los desafíos de ‘apropiar’ y poseer este conocimiento) y la lógica del mercado (una firma que incurre en gastos de investigación que beneficiarán igualmente a sus rivales no está tomando decisiones económicas racionales ya que sus rivales pueden aprovechar y obtener la misma ventaja económica sin incurrir en estos gastos)⁸. Así, la teoría económica proporcionó un fundamento robusto para la financiación pública de un solo *componente* de innovación (descubrimiento o invención). En lenguaje económico, el descubrimiento y la invención deberían tener características de bien público, semejantes a las de las carreteras o alcantarillados, y la idea de que los bienes públicos sufrieran ‘fallas de mercado’ –los insuficientes incentivos de mercado para producirlos al nivel o calidad deseados—fue bien aceptada.

La cuestión de si una falla similar de mercado podría ocurrir en estadios tardíos del proceso de innovación –investigación aplicada y comercialización—no se abordó ya que se asumió que en estos estadios el conocimiento sería *apropiable*— la apropiación de los beneficios podría estar protegida por el secreto comercial, la propiedad intelectual, o simplemente manteniendo un liderazgo competitivo que impidiera a los rivales imitar las innovaciones exitosas⁹.

⁷ Esta fue una preocupación particular de Chris Freeman. El autor se interesó en las funciones sociales de la ciencia (Bernal, 1939) y en la necesidad de distinguir entre invención y comercialización de la invención. Aunque Freeman no fue el primero en hacer esta distinción, el éxito de Freeman (1974) hizo que las ideas del autor se establecieran.

⁸ Ambas suposiciones fueron luego cuestionadas. Más dramáticamente, la naturaleza de los bienes públicos de la ciencia fue cuestionada por Collins (1974) y luego por Callon (1994). Rosenberg (1990) observó que las firmas invirtieron en ciencia ‘no-apropiable’ con su propio dinero, tal vez porque esto era una condición necesaria para emplear científicos o integrar sus científicos en las comunidades y redes de ciencia.

⁹ Excepciones a esta regla incluyeron la defensa (donde la planeación dominaba la competencia de mercado), la investigación médica (la cual era vista como inherentemente pública), y la agricultura (donde se pensaba que una considerable parte del avance provenía de la adopción generalizada de mejores prácticas).

Los responsables de la formulación de políticas aportaron una característica adicional al primer marco ya que patrocinaron la investigación de Mission-Oriented¹⁰ (orientada por misión), una continuación y, en algunos casos, una extensión del rol previo de los fondos de investigación gubernamentales para actividades militares. Algunas tecnologías fueron desarrolladas para financiar las guerras –armas atómicas, radares, aviones de reacción, misiles balísticos, y computadores fueron aún más desarrollados para defensa y adaptadas a aplicaciones civiles. La más improbable de estas adaptaciones, el uso de los misiles balísticos, fue transformada en un programa y una carrera espacial paralelas a la carrera armamentista de Pos-Guerra en producción de armas nucleares. En la década de los 60s, mantener la seguridad nacional luchando contra la pobreza y la violencia urbana y permitir la renovación urbana se convirtieron en otras áreas de inversión a gran escala (Light, 2003). La crisis petrolera de los 70s llevó a la formulación de un nuevo conjunto de políticas para la misión de seguridad que redujera la dependencia de las importaciones de petróleo, lo que contribuyó al desarrollo temprano de las tecnologías renovables. La definición y búsqueda de misiones por parte de los responsables de la formulación de políticas estuvo motivada por el prestigio nacional y la competencia ideológica entre el socialismo de estado de la entonces Unión Soviética y China, y el capitalismo de Occidente, aliado con una promesa de beneficios económicos y sociales sobre la inversión pública. Una característica reveladora del marco Mission-Oriented es la repuesta del físico Robert Wilson a la pregunta del Senador de los Estados Unidos, John Pastore, acerca del valor de la defensa (misión) del nuevo acelerador en Fermilab, en esa época, la instalación más grande de investigación en física de altas energías en el mundo –“...este nuevo conocimiento tiene todo que ver con honor y país pero nada que ver con la defensa de nuestro país excepto ayudar a que valga la pena defenderlo” (US Congress, 1969:113).

Economistas y responsables de la formulación de las políticas no fueron los únicos que contribuyeron con el primer marco de política de ciencia y tecnología. Durante la década de los 50s, la concientización sobre las consecuencias potencialmente negativas del desarrollo científico se limitó a unas pocas áreas de la ciencia tales como los riesgos de guerra nuclear y la radiación, ejemplificadas por el ‘Reloj del Apocalipsis’ que se actualizaba regularmente en la cubierta del Boletín de Científicos Atómicos. Sin embargo, la publicación de trabajos como el del *Silent Spring* (Carson, 1962) y el reporte sobre los Límites al Crecimiento del Club de Roma (Meadows et al., 1972) abrieron una agenda mucho más extensa de preocupación social acerca de las consecuencias potencialmente negativas de los nuevos productos de la ciencia. Durante la década de los 60s emergió una considerable ansiedad y protesta en contra de las posibles consecuencias de la ciencia sobre la salud y la seguridad pública y, finalmente, sobre la calidad ambiental. Los responsables de la formulación de las políticas respondieron a estos desarrollos, a menudo renuientemente, desarrollando nuevas agencias de regulación o haciendo importantes cambios en las agencias ya establecidas en periodos anteriores. Por ejemplo, la Administración de Medicamentos y Alimentos de Estados Unidos (FDA por su acrónimo en inglés), establecida en 1906 con el fin de fijar los estándares de seguridad farmacéutica y alimentaria, comenzó a regular la efectividad de los farmacéuticos después del desastre mundial de la Talidomida¹¹.

2.2. Marco 1: modelo de innovación y actores

¹⁰ Las políticas de innovación de tipo Mission-Oriented son definidas como políticas públicas sistemáticas que aprovechan el conocimiento de avanzada para lograr metas específicas (Ergas, 1987). Estas políticas tienen como objetivo abordar desafíos mayores que requieren un compromiso de largo plazo con el desarrollo de desafíos sociales y tecnológicos (Fray et al., 2012).

¹¹ Esto fue realizado a través de la Enmienda Kefauver Harris o la Enmienda de Eficacia de los Medicamentos, una Enmienda a la Ley de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos de 1962.

El modelo de innovación subyacente al Marco 1 se basa en la comercialización del descubrimiento científico sobre cada uno de los procesos que le siguen al descubrimiento, dirigidos por la lógica económica de inversión y de retorno financiero provenientes del mercado potencial para la innovación. Este marco refleja una confianza en la inevitabilidad del progreso y una racionalidad económica de los beneficios de poder elegir de manera competitiva (y por tanto relativamente económica) de una gama de bienes producidos masivamente. Se espera que este proceso guiado por la ciencia contribuya sustancialmente a un crecimiento a largo plazo y provea numerosas oportunidades de negocio. Este marco acepta que se tienen consecuencias negativas, pero que estas son atribuidas a las limitaciones del conocimiento científico, las cuales pueden ser remediadas con más investigación. La regulación se realiza, en su mayor parte, después de que se completa el proceso de investigación y cuando se experimentan problemas durante las fases de adopción y uso de la innovación. Para identificar estos problemas los gobiernos emplean ejercicios de evaluación de riesgo y tecnología y crean determinadas agencias encargadas de informar a los Parlamento (Vig and Paschen, 2000). Aún así, estas actividades de evaluación tecnológica no son vistas como una parte central de la política de CTel, sino a lo sumo, como un complemento útil. Un ejemplo de la resolución de problemas ex-post es el CFC (clorofluorocarbonos), una innovación que mejoró la seguridad y la calidad de refrigeración¹² la cual fue eventualmente reconocida como una amenaza para la capa de ozono y cuya producción fue prescrita por un tratado internacional (Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, 1987)¹³. Preocupaciones acerca de las implicaciones más extendidas del avance científico para el ambiente o la salud humana y el bienestar fueron vistos de una manera fatalista como el costo del progreso. Ellos fueron en su mayor parte marginados hasta finales de los años 70s y 80s cuando ocurrieron incidentes como el agotamiento del ozono resultantes de los CFCs y los accidentes nucleares de Three Mile Island (1979) y Chernobyl (1986).

Los actores en este modelo de innovación tienen una división clara de trabajo y responsabilidad. Se espera que los científicos busquen avanzar hacia el conocimiento científico únicamente con atención incidental sobre el potencial valor comercial de sus descubrimientos¹⁴, que publiquen su trabajo revelando completamente los métodos y resultados¹⁵, y que asuman que aquellos que adoptan sus descubrimientos los van a usar de una manera socialmente responsable. Se espera que el sector público proporcione un fondo generoso que financie la investigación científica y que regule la ciencia para garantizar su apertura y estimular la autorregulación de la falta de ética científica por parte de la comunidad científica (p.ej. falsificación de resultados o reclamos injustificados). También se espera que el sector público ofrezca los medios para identificar los problemas que surgen de la aplicación de la ciencia y que se refieran a estos expertos de la comunidad científica cuando de evaluación y soluciones, y eventualmente de regulación, se trata. El rol del sector privado es transformar los descubrimientos científicos en innovaciones las cuales apoyarán el crecimiento económico sostenido de largo plazo. En la

¹² Los CFCs reemplazaron los refrigerantes de dióxidos de azufre y el metanoato de metilo que eran, en el caso de fuga, directamente nocivos para la salud humana.

¹³ El Protocolo de Montreal es un ejemplo en el que la regulación es incompleta ya que no proporciona medidas para capturar y destruir las reservas existentes de CFCs. Así, una línea de investigación en el Marco 1 tiene que ver con la efectividad regulatoria en las cuales se basan las ideas relacionadas con el 'principio de precaución'.

¹⁴ Una interesante revisión de esta parte del modelo fue realizada por Stokes (1997) quien sugirió que podría ser posible distinguir entre líneas de investigación científica de 'uso-inspirado' (p. ej. las investigaciones de Pasteur sobre los mecanismos de fermentación) de aquellas 'puras' (p. ej. la investigación de Bohr sobre los estados de la energía en átomos).

¹⁵ Ver Dasgupta & David (1994) para una interpretación sobre la divulgación científica como una alternativa de apropiabilidad para generar bienestar social.

década de los 60s, se asumió que la competencia para hacer esto existiría principalmente en grandes corporaciones líderes quienes serían capaces de desarrollar las capacidades de investigación industrial para llevar a cabo la investigación aplicada y hacer los desarrollos necesarios para comercializar los descubrimientos científicos.

2.3. Marco 1: prácticas de política

El primer marco motivó una amplia visión sobre los beneficios de la investigación. Sin embargo, los formuladores de política tuvieron que negociar el proceso político a través del cual se asignaban los fondos de investigación. La definición de misiones por parte de los formuladores de política y los programas de investigación orientados por misión discutidos anteriormente fueron más evidentes en los Estados Unidos, donde grandes Departamentos del gobierno (defensa, energía, salud pública¹⁶) han continuado financiando la investigación básica y aplicada, y en Francia, donde la energía atómica y la investigación médica han sido un ejemplo perfecto de enfoque *intervencionista* para el avance científico. La ventaja política de la investigación orientada por misión es que los fondos de investigación científica básica se pueden justificar en términos de su contribución a objetivos específicos y no sobre promesas vagas acerca de los beneficios de la ciencia en el largo plazo.

El énfasis sobre la importancia de la ciencia y la tecnología llevó a la creación de muchos instrumentos de política que se propusieron para estimular la I+D de las empresas, lo que incluía un tratamiento fiscal favorable, subsidios directos empleados horizontalmente en industrias específicas y otras condiciones que favorecían la inversión empresarial teniendo como premisa que una parte de esta inversión se destinaría a actividades de innovación. Reconocer la importancia de las nuevas empresas de base tecnológica (NFBTs) en la promoción de innovación llevó a la idea de que la tributación a las ganancias sobre el capital a causa del incremento en el valor del capital también debería recibir un tratamiento fiscal favorable para alentar la mayor inversión de estas empresas. Comparaciones en los niveles de inversión en I+D (pública y privada) entre países se volvió un importante indicador de compromiso y desempeño. Más recientemente, la Unión Europea ha formalizado las aspiraciones de lograr un 3% en la participación de la investigación promedio del PIB en la UE (European Commission, 2010).

Aún así, mientras los gobiernos son positivos acerca de la financiación pública, casi ningún país puede financiar el hacerlo todo en ciencia y tecnología. Las elecciones son necesarias. Esto llevó al desarrollo de mecanismos para elegir entre alternativas contrapuestas. Un mecanismo prominente el cual se desarrolló durante los 80s y 90s fue la prospectiva tecnológica (Martin and Irvine, 1989). Las actividades de prospectiva son un medio para integrar consideraciones sociales en el proceso de selección, pero en la práctica las oportunidades tecnológicas que se perciben son a menudo dominantes.

Para asegurar la división del trabajo entre la investigación científica como un bien común y la apropiabilidad privada de investigación aplicada, el desarrollo y la comercialización, acciones de política fueron tomadas para fortalecer y extender la protección de propiedad intelectual. Los Estados Unidos

¹⁶ La inusual estructura del gobierno de los Estados Unidos (comparada con las democracias parlamentarias centralizadas) rompe la relación usual entre educación de alto nivel y política de ciencia. En los Estados Unidos, la mayoría de las universidades son establecidas y financiadas por los estados individuales de la unión. El ingreso sustancial de los fondos federales para investigación beneficiaron considerablemente a varias de ellas (p. ej. La Universidad de California y las universidades establecidas por la Ley Morrill de 1862, la cual entregaba subvenciones únicas sustanciales de terrenos del gobierno federal) así como muchas universidades privadas líderes (MIT, Stanford, Harvard, Chicago and Columbia). Ver Geiger (1993).

han sido particularmente agresivos en esta área con el establecimiento de la Corte de Apelaciones para el Circuito Federal (1982) cuya competencia principal es revisar la litigación de patentes, las extensiones sobre la duración de las patentes de productos farmacéuticos (1984) y la toma de liderazgo en el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (TRIPS por su acrónimo en inglés) incorporados en la Ronda de Uruguay del Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT por su acrónimo en inglés) en 1994.

Finalmente, la educación para las carreras de investigación fue un objetivo de política común en el periodo del primer marco y ha continuado más recientemente enfatizando en materias de CTIM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas). Asegurar la oferta de investigadores se considera críticamente importante para promover el crecimiento basado en ciencia.

2.4. Marco 1: marcos alternativos u opuestos

La descripción del primer marco de la empresa científica a gran escala conectado con la gran empresa o los eco-sistemas complejos de NFBTs fue bastante dominante en los Estados Unidos y Europa, pero planteó un mayor desafío a los países menos desarrollados a los que les faltaban recursos para invertir a los niveles requeridos de I+D. Sagasti (1980) argumentó que esto estaba produciendo dos civilizaciones, una que generaba el conocimiento y obtenía los beneficios principales del mismo y otra (es decir, el mundo en desarrollo) que recibía pasivamente una parte de este conocimiento y por tanto, una capacidad disminuida de soberanía y autodeterminación. Adicionalmente, las tecnologías desarrolladas por esta 'primera civilización' fueron vistas como una desventaja para otros ya que estas requerirían capacidades, infraestructura, y un contexto más amplio que no existía en los países en desarrollo (Stewart, 2008). Estos marcos opuestos de la naturaleza beneficiosa del progreso y la innovación en el contexto de los países desarrollados acarrearón respuestas de académicos y responsables de la formulación de políticas en los países menos desarrollados.

De acuerdo con el trabajo previo de Prebisch (1950) y Singer (1950), una doctrina de sustitución de importaciones llevó a un número de países, particularmente en Latinoamérica, a retirarse de la tendencia general de implementar tarifas más liberales de comercio internacional para construir su propia capacidad de innovación e industrias incipientes. Los mismos tipos de políticas fueron empleados en el Este Asiático, tal vez con un mayor grado de focalización sobre industrias específicas y con un claro intento de construir capacidad exportadora antes que sustitución de importaciones. Aunque abandonada en gran parte durante los 90s, muchos concluyeron que estas políticas tuvieron efectos positivos en el contexto del Este Asiático y algunos argumentaron que ellas tuvieron impactos positivos en Latinoamérica, p. ej. Colistete (2010)¹⁷. El éxito de estas políticas también contribuyó a la emergencia de un segundo marco de política de ciencia, tecnología e innovación con énfasis en sistemas nacionales de innovación.

Los desarrollos de Schumacher (1974) & Stewart (1973) exigiendo un movimiento que apoyara tecnologías apropiadas intentaron aprovechar procesos de investigación con las que se produjeran tecnologías que se adecuaban más al contexto de los países en desarrollo (Kaplinsky, 2011). En general, las innovaciones provenientes de este movimiento abordaban cuestiones relacionadas con pobreza (p. ej. mejores hornos para el uso de combustibles locales) y no con las expectativas de un aumento

¹⁷ En ambas áreas, presiones internacionales fueron importantes razones para el abandono de las políticas.

significativo en el ingreso de las personas de los países en desarrollo. Ideas de este movimiento social han reaparecido recientemente en escritos sobre innovación frugal (Radjou et al., 2012), innovación desde la base de la pirámide (London and Hart, 2004), e innovación inclusiva (Chataway et al., 2014). Estas ideas se están integrando a un tercer marco para la política de ciencia, tecnología e innovación que le apunta a aumentar la participación en el proceso de innovación.

3. Marco 2 – Sistemas nacionales de innovación

El surgimiento del Marco 2 se dio como respuesta a la percepción de los vacíos percibidos en el primer marco y a algunas de las consecuencias de haber seguido este modelo. La experiencia de crecimiento posterior a la Segunda Guerra Mundial que continuó con relativas interrupciones menores hasta los shocks del petróleo en los 70s y la seria recesión de 1981 (a menudo referida en Europa como una crisis económica), intensificó la competencia entre países y resaltó las diferencias en el desempeño innovativo y productivo de la industria nacional. Se volvió más evidente, durante la década de los 80s, que los países de más altos y más bajos ingresos tuvieran una tasa más lenta de convergencia que la que podría ser explicada usando la premisa del primer marco en la que el conocimiento científico y tecnológico era un bien público global –en principio, disponible para todo el mundo. El supuesto *catching-up*¹⁸ global como resultado de la transferencia tecnológica no ocurrió, excepto por los “tigres” del Este Asiático (Taiwán, Corea, Singapur y Hong Kong). Una explicación consistente con el primer marco sobre lo que estaría ocurriendo era que los países más ricos estaban protegiendo y, de esta manera, reteniendo el conocimiento científico o tecnológico, por tanto, excluyendo a otros países de utilizar este conocimiento para engancharse en el proceso de *catching-up*. Esta idea fue contrariada por Soete (1985) quien observó que la estructura industrial de las compañías de tecnología base a menudo incluían firmas más pequeñas o medianas capaces y dispuestas a vender tecnologías (p. ej. licenciar patentes, vender bienes de capital avanzados, o adquirirlas a precios más bajos que los costos implícitos de reproducir tecnologías).

Estos acertijos en el Marco 1 llevaron a los académicos a revisar el modelo lineal de innovación subyacente al mismo. Se indicaron cuatro importantes modificaciones. Primero, más que un bien público, se reconoció que el conocimiento científico y tecnológico a menudo contenía importantes elementos tácitos. El conocimiento no recorría libremente distancias geográficas y culturales, en lugar de eso era ‘sticky’, es decir, conocimiento que era costoso de adquirir, usar y transferir de un lugar a otro durante la resolución de un problema técnico (Von Hippel, 1994). Segundo, la habilidad de absorber conocimiento de las redes mundiales de investigación y de investigadores dependía de las capacidades de absorción (Cohen and Levinthal, 1989) las cuales requerían de experiencia previa en investigación y aplicación relacionadas. Tercero, se encontró que las ‘capacidades de absorción’ eran capacidades sociales que se derivaban no solo del nivel educativo sino también de las cualidades y las capacidades sociales del emprendimiento¹⁹. Cuarto, el carácter del cambio tecnológico fue reconocido como acumulativo y dependiente de una trayectoria (David, 1975; Arthur, 1983). Un balance existía entre las mayores innovaciones disruptivas que alteraban las trayectorias de búsqueda y mejora (disrupción de la trayectoria), y las innovaciones acumulativas que reforzaba y fortalecían los centros existentes

¹⁸ Ver pie de página 3 para explicación ampliada del término *catching-up*.

¹⁹ La promoción del emprendimiento es a menudo un sustituto de sentimientos políticos a favor de los negocios y en contra del gobierno (es decir, el favorecimiento a lo privado sobre la acción colectiva pública). Sin embargo, esto también refleja normas sociales con respecto a la toma de iniciativa y a la diferenciación de las prácticas existentes que a menudo involucran la creación de nuevos negocios.

(fortalecimiento de la trayectoria), a menudo en formas que creaban importantes barreras a los nuevos competidores.

Estas modificaciones al modelo subyacente de innovación sugirieron la posible existencia de importantes diferencias internacionales en la capacidad para innovar y enfocaron su atención sobre los procesos de aprendizaje y la relación entre las diferentes organizaciones de una sociedad. Freeman et al. (1988) y Lundvall (1992) emplearon el término sistemas nacionales de innovación para identificar las diferentes configuraciones de organizaciones interesadas en la generación y la utilización de conocimiento científico y tecnológico. El aspecto central de esta idea era que algunas configuraciones podrían ser mucho más efectivas que otras, contribuyendo sustancialmente a explicar las desiguales tasas de desempeño innovativo y productivo en el mundo. En particular, Freeman et al. (1988) sugirió que Japón había hecho importantes innovaciones organizacionales en la generación y utilización del conocimiento tecnológico las cuales explicaban su habilidad para alcanzar el nivel de los países ricos y superar a las compañías en sectores manufactureros avanzados tales como automóviles y televisores. Linsu Kim también hizo importantes contribuciones indicando que no solo es la inversión en I+D sino también el aprendizaje localizado lo que generó desarrollo y le permitió a Corea del Sur recuperar terreno (Kim, 1999). Esto fue complementado por el reconocimiento empírico creciente de que la innovación era a menudo iniciada por los usuarios (von Hippel, 1988) o a través de la retroalimentación entre la investigación aplicada, las actividades de desarrollo y las actividades de comercialización en lo que Kline y Rosenberg conceptualizaron como un modelo de innovación de enlaces en cadena (Kline and Rosenberg, 1986).

En la versión de los sistemas nacionales de innovación ofrecida por Freeman (1987, 1988), esos sistemas tenían un carácter nacional que reflejaba las diferencias instituciones y políticas. En Lundvall (1985, 1988), la importancia crucial de las capacidades para el aprendizaje fue asimismo enfatizada como una característica nacional que aplicaba a las organizaciones con sede en un país. La justificación de una limitante geográfico-política de estos sistemas era doble: las instituciones y las políticas se establecían ampliamente a nivel nacional y el conocimiento no viajaba fácilmente fuera del entorno socio-cultural en donde era creado. La mayor diferencia con el pensamiento de los sistemas de innovación era su énfasis sobre la característica de 'stickiness' del conocimiento – o cuan costoso era el conocimiento de adquirir usar y transferir— a través de espacios geográficos. Lo anterior sugiere sistemas regionales de innovación o, alternativamente, alineación cognitiva creada por la participación común en una industria y sus problemas tecnológicos a pesar de la nacionalidad, conllevando a sistemas nacionales sectoriales de innovación (para una discusión sobre estas variedades ver Edquist (1997)).

3.1. Fundamento/Justificación para la intervención de política

El contexto social e histórico de la literatura de los sistemas de innovación es importante. Esta surge en un intento por explicar la aparición de las economías del Este Asiático, primero Japón, luego los cuatro 'tigres' asiáticos y, más recientemente, China. Previamente se explicó que estos países se habían vuelto competitivos gracias a que sus sistemas nacionales de innovación les permitieron participar de manera positiva en la globalización del comercio y las finanzas. El énfasis de la competitividad estuvo alineado con el pensamiento neoliberal. Aún así, el Marco 2 parte claramente de tal pensamiento al enfatizar la habilidad del estado para conformar a una nación competitiva.

Desde una perspectiva económica neoliberal, la globalización es vista como la propagación de un sistema internacional de comercio e inversión liberal que crea las bases de la competencia internacional

y, por tanto, genera eficiencia en la producción y la distribución²⁰. Sin embargo, se tienen importantes reservas con respecto a las interpretaciones positivas de esta perspectiva –los procesos de globalización han permitido a millones de personas mejorar su bienestar material a la par que empobrecen a otros millones. Mientras muchas de las economías menos desarrolladas han hecho importantes progresos sobre el total del ingreso nacional, en muchos casos la distribución de este ingreso dentro de los países se ha empeorado y la brecha entre las naciones más ricas y las más pobres se ha ampliado (Keeley, 2015; van Zanden et al., 2014). Desde la perspectiva compartida de los Marcos 1 y 2, el crecimiento del producto y el empleo también son importantes en el futuro bienestar económico de los países y de sus ciudadanos. El retraso en el crecimiento suscita el temor al deterioro y a una espiral negativa en la cual un país se vuelve menos capaz de competir en los mercados internacionales y, debido a las crecientes importaciones, de mantener la producción de bienes comercializados por las firmas nacionales. Esto también amenaza la habilidad del Estado de distribuir el ingreso a partir de la mayor recaudación de impuestos. Un objetivo central de la política de ciencia, tecnología e innovación es por tanto mantener la competitividad –una meta a menudo establecida en términos mercantilistas en la cual, a través de las exportaciones, se vuelve competitivo para estimular el crecimiento continuo, mientras se preserva una participación dominante en la producción nacional para el consumo interno.²¹

El enfoque de sistema de innovación nacional es así complementario a una agenda de competitividad, basada en la ventaja comercial más que en el prestigio nacional o poder militar. Defensores de esta agenda (los cuales permanecen influyentes hasta el día de hoy) argumentan que los estados necesitan facilitar la consolidación de un sistema nacional de innovación para preservar o expandir la ventaja competitiva de las firmas domésticas. La racionalidad de la agenda de competitividad conserva una perspectiva de Marco 1 en la medida en que las intervenciones están limitadas a la investigación pre-competitiva, es decir, la creación de conocimiento en etapas previas al diseño del producto. Esta limitación es amplia debido a las preocupaciones sobre el apoyo del estado o sobre las políticas cuasi-mercantilistas que fueron proscritas para crear igualdad de oportunidades en la competencia del comercio internacional. Académicos han argumentado a favor (Graham, 1994) y en contra (Cohen & Noll, 1991) de favorecer esta extensión a la acción estatal. Una perspectiva de Marco 2 se focalizaría menos sobre los fondos pre-competitivos de I+D y más sobre el aprendizaje entre los actores el sistema. Recientemente Mazzucato (2013) se enfocó en la importancia del rol del estado como un tomador de riesgo de alto nivel en el desarrollo de nuevas tecnologías, una actividad *downstream*²² y que tiene un propósito más definido que la inversión en ciencia. La autora llama la atención sobre el importante rol que las finanzas juegan en los sistemas nacionales de innovación, un rol que ha sido ignorado en muchas de las políticas y enfoques de los sistemas nacionales de innovación. Ella argumenta que la financiación a largo plazo provista por el estado es necesaria para hacer que la comercialización y la difusión ocurran.

En términos de gobernanza de las intervenciones de política, el Marco 2 sugiere que las alianzas y la coordinación entre los actores dentro del sistema de innovación son convenientes para evitar fallas de sistema– ausencia de cooperación y coordinación. Otras fallas del sistema incluyen la dominación de intereses particulares en las políticas gubernamentales centradas en facilitar investigación e innovación y en crear carteles bajo el estandarte de cooperación y coordinación de investigación mejorada. En este marco, estas deberían ser abordadas por, a menudo independientes, ministerios reguladores o agencias

²⁰ La perspectiva neoliberal es ejemplificada por Friedman (2005).

²¹ Esto plantea los mismos problemas relacionados con la sostenibilidad económica que Smith (1960 [1776]) observó con respecto a las prácticas mercantilistas y que llevó en ese entonces y en la historia más reciente, a episodios periódicos de incrementos en las tarifas y colapsos en el comercio internacional.

²² Investigación aplicada y/o desarrollo de productos con mayor valor agregado.

de gobiernos nacional las cuales, debido a la agenda de competitividad, usualmente han estado reacias a actuar contra las concentraciones nacionales de poder económico. Esto se debe al miedo por parte de estas agencias a la pérdida de competitividad en relación con otras grandes compañías multinacionales²³.

3.2. Marco 2: modelo de innovación y actores

A pesar de que se incluye un amplio rango de actores que se consideran tienen agencia para mejorar los sistemas de innovación, el Marco 2 mantiene el enfoque de impulso tecnológico del Marco 1. Aunque se considera que los usuarios son una posible fuente de innovación en el modelo de innovación subyacente del Marco 2, y la relaciones usuario-productor son claves, la agencia de los usuarios se limita a proveer input al proceso de producción de conocimiento llevado a cabo por las firmas y por otros proveedores de conocimiento tales como las universidades.

El modelo subyacente de innovación en el Marco 2, sin embargo, fue fundamentalmente modificado con importantes implicaciones para la práctica de la política. Este se alejó de una comprensión lineal de la innovación hacia un modelo más interactivo como se ejemplificó en el modelo de enlaces en cadena. Un trabajo relevante distinguió dos estructuras de producción de conocimiento, Modo 1 y Modo 2, similar a nuestros dos marcos (Gibbons et al., 1994). Este trabajo distinguió cinco características del Modo 2 de producción de conocimiento: 1) el conocimiento es producido crecientemente en el contexto de aplicación,²⁴ 2) transdisciplinariedad, la fusión o ‘inter-penetración’ de los marcos disciplinarios para producir nuevos marcos comunes de investigación durante la aplicación (p.29), 3) heterogeneidad y diversidad organizacional, lo que refleja la creciente diversidad de los actores involucrados en la producción de conocimiento, 4) responsabilidad y reflexividad social, lo que involucra un más amplio rango de expertos en el proceso de investigación para acomodar las preocupaciones éticas y ambientales²⁵, y 5) control de calidad, en la que la evaluación tradicional disciplinaria por pares de lo que constituye buena ciencia se vuelve más compleja con la producción del conocimiento en el contexto de la aplicación más que dentro de las disciplinas establecidas y sus normas autorreferenciales. Gibbons et al. (1994) sugirió la necesidad de una reforma institucional con particular atención sobre la relación entre los esfuerzos directos de la investigación gubernamental (p. ej. en laboratorios de investigación pública), la investigación industrial y la investigación universitaria para estimular la creación de redes que faciliten la coordinación y cooperación. Este enfoque sobre los vínculos institucionales y las interacciones resuena bastante con el Marco 2, el enfoque de sistemas nacionales de innovación.

Una línea relacionada de investigación y de fomento a la política en el Marco 1 ha sido presentada usando la Triple Hélice (Etzkowitz & Leydesdorff, 1997; Etzkowitz, 1998, 2008) –la denominación que se

²³ Por ejemplo, en 1999, los Estados Unidos derogó la Ley Steagall Glass (1933) la cual había regulado la concentración de los bancos debido a la percibida amenaza de competitividad de los grandes bancos extranjeros.

²⁴ De acuerdo con Gibbons et al. (1994) la producción del conocimiento se estaba volviendo más ‘socialmente distribuida’ y había ‘transcendido el mercado’ (p.4). Aunque sus trabajos, sin embargo, continúan focalizándose sobre la distinción entre los productores de conocimiento de la universidad y la industria con solo una referencia indirecta a (p.27) von Hippel (1976, 1988) de que la ‘presencia de compradores y usuarios potenciales en los contextos de desarrollo influyen directamente en la dirección que tomarán las líneas innovativas de investigación’. De hecho, von Hippel documenta en estos dos trabajos que eran los usuarios los directamente responsables de muchas de las mayores innovaciones de los instrumentos científicos y otros campos.

²⁵ Esto presagia nuestra discusión relacionada con este asunto en el Marco 3. La discusión de esto en Gibbons et al. (1994) (pp. 7-8 y en breve referencia a través de su trabajo) sugiere que los mecanismos de responsabilidad e instituciones para reflexividad ya existían. Sin embargo, casi no hay evidencia sobre esta conclusión.

le atribuye a la creciente naturaleza de entrelazar los esfuerzos de investigación del gobierno, la industria y la universidad. Igual que Gibbons et al. (1994), los académicos que participaron en los estudios de la triple-hélice han buscado esquematizar y analizar las nuevas formas de cooperación emergentes entre las instituciones para considerar los procesos de gobernanza que alinean los intereses de esas diferentes instituciones y proveer una guía a cada tipo de institución sobre como ellos podrían promulgar reformas que hicieran más efectivas las funciones de los sistemas nacionales de innovación. Una importante premisa en la investigación de triple-hélice ha sido el hecho de que las universidades deberían volverse más emprendedoras, fomentando la formación de nuevas compañías a través de spin-offs y licenciando la tecnología producida a través de investigación universitaria. Las dificultades para transferir conocimiento entre lugares hizo que se reexaminaran los efectos geográficos de la localización (Gertler, 2001). Los estudios iniciales resaltaron la existencia de clústeres industriales (Castells & Hall, 1994) lo que sugiere políticas encaminadas a concentrar un tipo particular de actividades, p. ej. el corredor multimedia en Malasia (Bunnell, 2002). Sin embargo, estudios posteriores encontraron que las cuestiones gubernamentales eran de importancia crítica y difíciles de reproducir (Cooke, 2001) y que la proximidad podría tener efectos perjudiciales así como positivos (Boschma, 2005), más allá de desarrollar la capacidad 'stickiness' del conocimiento. En términos de los actores y de la innovación, el Marco 2 refleja cambios que se perciben en los procesos a través de los cuales el conocimiento a aplicar es generado e intercambiado. En vez de un flujo lineal de la ciencia a la I+D aplicada y de allí, a la comercialización, el conocimiento es generado a través de interacciones entre los actores (más diversos) en los sistemas de información nacional, sectorial y regional. Estas interacciones implican un proceso de aprendizaje interactivo y una construcción de capacidades que absorban y adapten el conocimiento, a menudo influenciado por la proximidad física y cognitiva. Para que estos procesos sean efectivos, es necesario que los objetivos de los actores estén alineados y que posean capacidades para interactuar. Dentro de este modelo, se le prestó considerable atención a casos tales como Silicon Valley (Kenney, 2000) o Route 128 (Saxenian, 1996) en los Estados Unidos o área de Cambridgeshire en Inglaterra (Garnsey and Heffernan, 2005). Hay, sin embargo, poco consenso en cómo este modelo podría estar influenciado por la política.

3.3. Marco 2: prácticas de política

La falta de consenso académico con respecto a la relativa efectividad de los diferentes tipos de intervenciones basadas en una perspectiva de Marco 2 ha llevado a una considerable variedad de prácticas reales de política (Steinmueller, 2010). Los gobiernos centrales han dedicado esfuerzos sustanciales para construir tecnópolis (p. ej. Sophia Antipolis en Francia (Longhi, 1999)) y hubs de ciencia (p. ej. ciudad de Tsukubu en Japón (Tatsuno, 1986)). Autoridades regionales han intentado revitalizar áreas haciendo inversiones en nuevas firmas de base tecnológica, p. ej. Research Triangle en el Norte de Carolina, Estados Unidos (Link & Scott, 2003). Estos esfuerzos han tenido un éxito diferenciado y la perspectiva temporal para el desarrollo nacional o regional exitoso parece ser muy larga ya que ello es relativo al tiempo de permanencia de los tomadores de decisión política que inician tales planes.

Las políticas que apuntan a mejorar la coordinación y la alineación entre los diferentes actores del sistema de innovación han sido adoptadas en muchos países. Estas a menudo imponen condiciones a la financiación, p. ej. participación con otras organizaciones en una red como condición para acceder a fondos de investigación. Tal financiación condicionada ha sido aplicada a los fondos de laboratorios de investigación universitarios, corporativos y públicos. Exenciones de pautas sobre política para la competencia, limitando su cumplimiento y promoviendo la colaboración entre firmas dentro de industrias específicas, también han sido propuestas y promulgadas para estimular la formación de redes de investigación (Jorde & Teece, 1990). La prospectiva también se ha usado y defendido como una

herramienta que permite la mejor comunicación, la coordinación más efectiva, el desarrollo de consenso y la generación de compromisos (Martin & Johnston, 1999).

Una de las características distintivas del Marco 2 es el mayor rol que se le atribuye a la agencia en comparación con el Marco 1. Esto indica una mayor preocupación por el emprendimiento. La naturaleza del empresario era un tema central en los escritos de Schumpeter (Schumpeter, 1947, 1949). Sin embargo, no fue sino hasta la década de los 80s que un enfoque específico sobre las políticas que promovían el emprendimiento involucrando la formación y el crecimiento de nuevas firmas, particularmente aquellas que usaban nuevas tecnologías, se convirtió en preocupación central de política. La promoción de nuevas firmas de tecnología base (NFBTs)²⁶ se ajusta difícilmente a los puntos de vista neoliberales sobre la eficacia de los mercados y sugiere que el tamaño de la firma es irrelevante para el grado o la naturaleza de la capacidad de innovación (Kulicke and Krupp, 1987). Sin embargo, cuando cuestiones de agencia son consideradas explícitamente, el enfoque y la gestión de tales firmas junto con el carácter de sus empresarios sugieren razones de especial consideración relacionadas con este tipo de firmas en las políticas de promoción gubernamentales. Tales políticas también reflejan la creciente preocupación por el empleo y su asociada consideración de que las pequeñas y medianas empresas (PYMES) proveen la mayoría de empleos en la mayoría de economías. En muchos contextos, esto es más un problema que una ventaja (comparado con sus rivales más grandes, las PYMES generalmente no tienen los recursos o la presencia en el mercado para atraer I+D o para promover nuevas tecnológicas a gran escala, a menudo tienen más bajos niveles de productividad y experimentan índices más altos de bancarrota). El rasgo característico de las NFBTs, sin embargo, es el carácter pionero de sus nuevas tecnologías, algunas de las cuales producen crecimiento rápido en el empleo y el producto. Las NFBTs también contribuyen al sistema nacional de innovación con la creación de un grado más alto de diversificación y especialización, permitiendo a las firmas más grandes seleccionar de una población de firmas con muchas más nuevas ideas que las que podrían ser producidas únicamente a través de sus procesos internos de I+D.

El Marco 2 también sugiere poner énfasis en una política renovada que se focalice en temas de de difusión tecnológica o adopción. El enfoque de sistemas enfatiza la conexión entre oferta y demanda lo que se asume como una conexión mediada por procesos de mercado, así como de no mercado. Muchas tecnologías modernas involucran coordinación entre firmas dentro de sectores como el aeroespacial, el electrónico, los CoPS (sistemas de productos complejos tales como los simuladores de vuelo) y los edificios de emisiones netas de dióxido de carbono iguales a cero que involucran no solo conocimiento científico sustancial y tecnológico, sino también conocimiento distribuido a través de muchas firmas especializadas. Para que estos sectores se desarrollen y prosperen, la relación con sus clientes necesita ser suficientemente estable para apoyar la inversión mientras que las redes de las firmas que abarcan estos sectores necesitan estar adecuadamente coordinadas. Las cuestiones de demanda y de coordinación eran históricamente abordadas a través de la contratación pública. Mientras que la contratación pública sigue siendo importante, la demanda del sector privado por los productos y servicios de estos sectores ha incrementado dramáticamente (en parte debido a la privatización de empresas previas gubernamentales de telecomunicaciones y transporte). La privatización no solo introduce los mercados, sino que también reestructura las relaciones que no son de mercado dentro de estos sectores. Los gobiernos deben escoger entre si estas reestructuraciones son conducidas bajo un

²⁶ Como una categoría descriptiva, las NFBTs ya existían en las evaluaciones de desempeño industrial.

modo *laissez-faire*²⁷ o bajo un modo en el que las regulaciones, promociones e intervenciones gubernamentales²⁸ asumen un rol.

Las prácticas de política gubernamentales en el Marco 2 implican que se eduque y se entrene a la mano de obra con el objetivo de apoyar las capacidades de absorción de las firmas y otras organizaciones. La capacidad de absorción es uno de los varios tipos de capacidades que no son de mercado y que se ha vuelto visible al profundizar el análisis de generación y distribución de conocimiento más allá del modelo lineal materializado del Marco 1.²⁹ En las economías en desarrollo, la dirección apropiada de las políticas de entrenamiento y de educación a menudo involucran el logro de destrezas instrumentales particulares en ciencia y tecnología. En las economías industrializadas, hay una continua tensión entre las políticas educativas de *laissez faire* y las políticas de desarrollo de la mano de obra que proveen mayores recursos para tipos particulares de educación (Machin and Vignoles, 2015).

3.4. Marco 2: marcos alternativos u opuestos

Los sistemas nacionales de innovación y los marcos relacionados (sectorial y regional) están estructurados alrededor del intercambio de conocimiento y la colaboración entre las organizaciones que emplean investigadores profesionales. Una consecuencia de esto es que la discusión social de opciones y direcciones tecnológicas no se integra dentro de las redes, aún cuando estas redes son establecidas como resultado de la intervención del gobierno. En efecto, el marco de sistemas nacionales de innovación continua con las políticas tecnocráticas del marco de innovación para el crecimiento (Marco 1). Ambos marcos, comúnmente empleados en las discusiones de política, comparten la idea de que la inversión en I+D e innovación es positiva. Esta inversión podría ser criticada y así interrumpida por sus limitaciones éticas o ambientales; sin embargo, no se tiene una multiplicidad de trayectorias o alternativas que se discuta entre todos los actores, incluyendo usuarios y un público amplio. Un marco alternativo a este debería introducir explícitamente procesos participativos e inclusivos con el poder de identificar alternativas e influir o tomar decisiones acerca de todas las posibles opciones. Esto no es un proceso que debería ser dejado enteramente a la comunidad científica.

Este marco alternativo sugiere así la necesidad de abrir el proceso de elección entre todos los actores incluyendo los actores marginados, para darles una voz y con ello influir en las trayectorias a seguir en investigación y en sus correspondientes fondos de financiamiento. De esta cuestión se han ocupado más recientemente Dutrénit & Sutz (2014); Lundvall et al. (2009) y otros autores quienes se basan en un enfoque de sistemas nacionales de innovación. Ellos se cuestionan la poca atención que este enfoque presta a los problemas de los países en desarrollo. Su preocupación central es que el enfoque del sistema nacional de innovación está conllevando a exclusión social y hacen hincapié en la necesidad de enfoques participativos que democratizen la producción del conocimiento (Dutrénit & Sutz, 2014). El llamado por una participación más amplia ha estado presente en las críticas y debates en Europa y los Estados Unidos desde los 70s. Esto a menudo ha guiado a una comprensión pública unidireccional sobre

²⁷ *Laissez-faire* es una doctrina económica en la cual el gobierno no interfiere en el mercado y las transacciones entre privados a través de, por ejemplo, regulaciones y programas.

²⁸ Un enfoque de *laissez faire* puro es raro ya que típicamente los gobiernos integran cuestiones como estandarización y regulación, así como el de convertirse en los mayores clientes dentro de los sectores reestructurados.

²⁹ Las capacidades para establecer redes que incluyen proveedores y gestión de cadenas de valor, desarrollo del mercado y gestión del conocimiento son otros ejemplos de tales capacidades no relacionadas con el mercado. Aunque algunas partes de estas capacidades pueden ser adquiridas a través de las transacciones de mercado, las elecciones en estas transacciones mismas requieren capacidades dentro de la firma u organización.

las iniciativas científicas centradas en hacer que la sociedad entienda las razones del apoyo a la inversión en ciencia (Miller, 2001). Sin embargo, también ha llevado a sugerir nuevas prácticas de política más radicales tales como la Evaluación Constructiva de Tecnología, la Evaluación Interactiva de Tecnología y el Diseño Participativo de Tecnología para ayudar a identificar las opciones existentes y sus consecuencias hacia trayectorias existentes de desarrollo y cambio (Rip et al., 1995; Irwin, 2006).

3.5. Resumen

Como se dijo anteriormente, los marcos 1 y 2 siguen siendo relevantes. El primer marco de política de ciencia y tecnología, con base en las premisas de que la ciencia es la base para el crecimiento económico de largo plazo y de que la innovación involucra mayormente la comercialización del descubrimiento científico, está presente en las discusiones contemporáneas. Muchas de las prácticas de política desarrolladas dentro de este marco son aún implementadas, aunque algunas han sido sujetas a modificaciones como marcos competitivos de política económica tales como el neoliberalismo que ha buscado limitar la ayuda del estado y favorecer los mercados sobre las políticas del gobierno, incluyendo la política de innovación. Representantes de la comunidad científica comúnmente argumentan que la independencia de sus miembros en la concesión de una investigación impulsada por la curiosidad es el valor primario y es el responsable de innovaciones profundamente importantes, una perspectiva que es consistente con el primer y segundo marco.

Reflexiones sobre la implementación de la política derivadas del primer marco han llevado a preguntas acerca del énfasis de la I+D. Se sugirió que era importante observar cómo los resultados de los esfuerzos de investigación son usados y absorbidos en la economía. El segundo marco estaba destinado a impulsar la capacidad de absorción por los emprendedores a través de los vínculos institucionales.

A lo largo de la historia ha sido claro que los procesos de cambio tecnológico son irregulares en tiempo y espacio. Clústeres de innovaciones que reestructuran sectores particulares se han caracterizado como disruptivos o como mayores innovaciones debido a sus efectos las firmas líderes y los trabajos. A pesar de que durante el siglo XX prevaleció un optimismo generalizado, sugerido por el primer y segundo marco, sobre los impactos estos cambios sobre el bienestar social, la inequidad del ingreso en países de alto ingreso se ha incrementado. Un número de países de ingreso medio parecen estar atrapados en la dependencia del crecimiento basado en los recursos naturales y la comercialización, y aunque el grupo de los BRIC (Brasil, Rusia, India y China) es una excepción parcial, muchos países de bajos ingresos han progresado poco en *catching-up*. No es claro si más inversión en I+D y construcción del sistema nacional de innovación guiará al desarrollo y al *catching-up*. Cuestionamientos también existen acerca de si estas inversiones reducirán la inequidad y ayudarán a resolver los problemas sociales. Ellas pueden incluso profundizarlas debido a la distribución de los beneficios primarios de estas inversiones entre un pequeño segmento de la población. Adicionalmente, los efectos del cambio climático relacionados con las emisiones de gases de invernadero, los efectos ambientales del volumen de residuos domésticos e industriales, y otras externalidades producidas por el patrón de crecimiento perseguido en el primer y segundo marco han sugerido que el modelo regulatorio integrado al modelo básico de innovación es incapaz de abordar estas externalidades. Lo que se necesita para abordar los problemas sociales (inequidad, pobreza) y ambientales es focalizarse en la direccionalidad de los sistemas sociotécnicos además de tener un enfoque más participativo e inclusivo. Estas características no son fácilmente abarcadas en el primer y segundo marco.

4. Marco 3: cambio transformativo

Desde hace una década, los gobiernos han reconocido que necesitan alinear mejor los desafíos sociales y ambientales con los objetivos de innovación. El cambio climático, la reducción de la igualdad, la pobreza y la contaminación han sido transformados en desafíos y oportunidades para la política de CTel. A través de iniciativas como Horizonte 2020, la UE espera que la innovación aborde un número bien escogido de desafíos sociales y, por ejemplo, contribuir de esta manera con la transición hacia una economía inclusiva y de bajo-carbono³⁰. La Declaración de Lund de 2015 prioriza explícitamente que se entrene a una nueva generación de investigadores con destrezas para abordar los grandes desafíos sociales sustentados en una excelente base de investigación³¹, igualmente, la firma del acuerdo universal de cambio climático de París ha establecido ambiciosas metas para llegar a cero emisiones de carbono en la segunda mitad del siglo. Así mismo, las Naciones Unidas (2015) han formulado 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en los que se demanda producción más verde, aumento de justicia social, distribución justa del bienestar, patrones de consumo más sostenibles y nuevas formas para generar crecimiento económico.

¿Podemos esperar que la innovación responda a estos desafíos? Las políticas de ciencia, tecnología e innovación parten de la premisa de que la innovación es una fuerza que contribuye a la creación de un mundo mejor.³² Se basan en la idea que el desarrollo de nuevas tecnologías dará lugar a mayores niveles de productividad laboral y crecimiento económico, así como a una mejor posición competitiva. Se espera que las externalidades restantes puedan ser manejadas a través de la regulación. Subsecuentemente, la política de innovación se focaliza en la estimulación de I+D y en la construcción de sistemas nacionales de innovación. Se prevé que tal política puede conducir a un crecimiento verde en el cual los gobiernos sean capaces de invertir en misiones de tecnología limpia, reducción de la contaminación y limpieza del medio ambiente. Se asume también que la inequidad será reducida a través de nuevas oportunidades de trabajo como resultado de la redistribución del crecimiento y el ingreso. Sin embargo, esto es así únicamente cuando asumimos que las naciones-estado, a pesar de la globalización, tiene la capacidad de invertir persistente y prolongadamente en tecnologías limpias, están en posición de organizar las funciones de distribución de una manera adecuada, le hacen frente a la evasión de impuestos, y no están en manos de y/o corrompidos por otros intereses que favorecen la inversión y distribución en otras direcciones. Un principal desafío es si el Estado está de hecho en la posición de cumplir con ello.

El potencial deterioro del poder de las naciones-estado, sin embargo, no es el principal desafío. Un desafío mayor es el manejo ex-post de las externalidades resultantes del crecimiento, por ejemplo, el cambio climático, a través de energía limpia y las medidas distributivas, aún teniendo un estado fuerte. Nuestra proposición central es que los marcos de I+D y de sistemas nacionales de innovación existentes para la política de ciencia, tecnología e innovación son inadecuados en el abordaje de los desafíos ambientales y sociales. Una razón importante es que ambos marcos, Marco 1 y Marco 2, asumen como positivo el estímulo a la innovación, y no hay un profundo compromiso con el hecho de que la innovación siempre representa una cierta direccionalidad. Ambos marcos reconocen que el desarrollo de la tecnología podría conllevar a algunos resultados negativos en el corto plazo pero que el total de sus beneficios compensan por estos resultados. Por ejemplo, la innovación puede conllevar al desempleo en los sectores que experimentan rápido cambio técnico; no obstante, todos se beneficiarán en el largo plazo debido a los nuevos trabajos de alta calidad que serán generados. Debido a esto

³⁰ Comisión Europea, KI-31-12-921-EN-C

³¹ https://www.ukro.ac.uk/authoring/researcher/Documents/151215_lund_declaration.pdf

³² Se tienen excepciones como la seguridad militar en donde la meta operativa se basa en la prevención mundial hacia estados peores.

Schumpeter consideró al cambio técnico como un proceso de destrucción creativa. Sin embargo, Soete (2013) nos recuerda que la innovación puede conducir también a una creación destructiva, beneficiando a pocos a expensas de muchos, conllevando a trabajos de baja calidad y creando más problemas que los que soluciona. Pensamos que es tiempo de reconocer en nuestros marcos de política de innovación que muchas tecnologías tienen mucho que ver con los persistentes problemas ambientales y sociales. La innovación contribuye masivamente al presente paradigma de producción y consumo en masa despilfarrador basado en el uso de recursos intensivos y combustibles fósiles (Meadows et al., 2004; Bardi, 2011; Steffen et al., 2015). También contribuye directamente a la inequidad ya que las trayectorias actuales de innovación favorecen soluciones de alta tecnología, las cuales adoptan una infraestructura pervasiva y de alta calidad y producen artículos en masa dirigidos a consumidores con poder substancial de compra (Kaplinsky, 2011). Las políticas de innovación en sus formas actuales pueden conllevar al crecimiento económico, pero a menudo exacerban inequidades. Incluso el crecimiento rápido, como el caso de China, está acompañado por un crecimiento inequitativo (Dutrénit & Sutz, 2014). Como punto de partida de un nuevo tercer marco para la política de ciencia, tecnología e innovación se debería entender que la innovación no se puede equiparar con el progreso social, incluso teniendo políticas sociales correctivas. Después de todo, la innovación misma puede estar causando un creciente número de externalidades. ¿Cómo puede la política de CTel entonces abordar los desafíos sociales y ambientales?

Argumentamos que para hacerle frente a los ambiciosos desafíos expresados, por ejemplo en los ODS, necesitamos un nuevo marco de política de innovación. Este es el que llamamos Marco 3, de cambio transformativo. De allí la pregunta –¿qué necesita ser transformado? Basados los estudios sobre transiciones para la sostenibilidad, argumentamos que la transformación de los sistemas sociotécnicos es necesaria para la provisión de energía, movilidad, alimentos, agua, salud pública, comunicación, que son sistemas básicos de las sociedades modernas (Grin et al., 2010; Markard et al., 2012; Steward, 2012; OECD, 2015). La transformación del sistema sociotécnico es muy diferente al simple desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas radicales. Por ejemplo, la política de ciencia, tecnología e innovación puede focalizarse en la introducción de vehículos eléctricos y su punto débil: superar el rango limitado a través del desarrollo de la batería. Sin embargo, si el vehículo eléctrico solo es un sustituto para el actual automóvil y continuamos con un sistema de movilidad dominado por estos automóviles, aún se estará lejos de lograr una economía inclusiva y de bajo carbono. Puede que las estructuras industriales sean transformadas, pero los ambiciosos ODS no se están alcanzando. Por tanto argumentamos que sería mejor enfocarse en políticas de innovación que apoyen la emergencia de nuevos sistemas de movilidad en los cuales, por ejemplo, la propiedad privada del carro sea menos importante, y que otras modalidades de movilidad tales como los pequeños taxi-van, el transporte público y la bicicleta así como ir a pie, sean más utilizados en combinación con, por ejemplo, los vehículos eléctricos provistos por compañías encargadas del suministro de servicios de movilidad que usan capacidades ICT. En este nuevo sistema, la planeación y la reducción de la movilidad se han convertido en objetivos de todos los actores e incluso símbolos del comportamiento moderno. Esto es lo que llamamos una transición del sistema sociotécnico. Ello implica la coproducción de un cambio social, tecnológico y conductual de manera interrelacionada. Una transformación del sistema sociotécnico (o transición) se trata de un cambio en las destrezas, las infraestructuras, las estructuras industriales, los productos, las regulaciones, las preferencias del usuario y las predilecciones culturales. Se trata de un cambio radical en todos los elementos de la configuración. Esto también hace difícil las transiciones del sistema, ya que los elementos tienden a estar alineados y a reforzarse entre sí. Esto implica una innovación social ya que el énfasis está sobre muchos de los elementos sociales y sus relaciones con oportunidades tecnológicas. Esta puede incluir soluciones de alta tecnología así como también innovaciones de viejas tecnologías (bicicletas en el ejemplo de arriba). Los sistemas de innovación siempre involucran múltiples actores,

incluyendo la sociedad civil y los usuarios quienes juegan un rol crucial innovativo –no solo como demandantes de los servicios ofertados por las innovaciones de la firma (Oudshoorn & Pinch, 2003; Schot et al., 2016).

4.1. Fundamento/Justificación para la intervención de política

Weber & Rohracher (2012) han explorado varias racionalidades que hacen legítima la política de ciencia, tecnología e innovación. Ellos argumentan que las fallas del mercado y de los sistemas que respaldan las políticas actuales de innovación deberían ser complementadas por políticas que le apunten a la transformación. Estamos de acuerdo con que el marco transformativo necesita una narrativa fuerte y consideramos que un buen punto de partida para ello podría ser el análisis de estas fallas. Weber & Rohracher proponen que las políticas para el cambio transformativo comienzan con el reconocimiento de cuatro tipos de fallas: direccionalidad, coordinación de política, articulación de la demanda y reflexividad. Este es un marco bastante útil que nos gustaría aprovechar y complementar.

La falla en direccionalidad se refiere a la falta de medios con los cuales se puedan hacer elecciones sociales sobre desarrollo alternativo. El marco de cambio transformativo toma la dirección como un punto de partida y requiere de un proceso por medio del cual se determinen las prioridades colectivas. Este asume deliberaciones, diversidad de opiniones y, por tanto, conflicto. Eventualmente este marco aspira a establecer lo que Weber & Rohracher llaman corredores de trayectorias de desarrollo aceptable.³³ Stirling (2008; 2009) sostiene de manera convincente que es crucial trabajar sobre la base de una gran diversidad de alternativas, evitando centrarse fácil o rápidamente en argumentos “a favor” o “en contra” de alternativas específicas.

Para abordar las fallas de direccionalidad se requiere tomar en cuenta alternativas que vayan más allá de los estrechos límites establecidos por los líderes. Ello alimenta las oportunidades a través de las cuales varios grupos pueden desafiar las perspectivas dominantes de los actuales sistemas sociotécnicos.³⁴ Aún así, será necesario concluir con la exploración para concentrarse en ciertas alternativas. Esto no solo es debido a la necesidad de concentrar recursos y fortalecer las capacidades en ciertas soluciones, sino también de prevenir continuas inversiones en alternativas que son menos prometedoras (desde un punto de vista transformacional) y pueden bloquear el escalamiento de trayectorias sostenibles. Abordar las fallas de direccionalidad no se trata solo de abordar la falta de consideración a un gran conjunto de diversas opciones, sino también la falta de atención a las conexiones entre las opciones y los ODS u otros desafíos sociales. La política de innovación transformativa, por tanto, enfrenta difíciles intercambios ex-ante y continuos entre los intereses y las visiones de los diferentes grupos. La gobernanza de la innovación transformativa se debería reconocer por lo que es: un proceso político que debería dar cabida a la valoración y a la negociación del desarrollo de diversos conjuntos de trayectorias, así como la elección de trayectorias específicas. En este proceso de negociación, las visiones de varios grupos no tienen que ser completamente congruentes, los actores necesitan reconocer suficientes elementos comunes y atractivos con los cuales se puedan relacionar para así seguir adelante (Grin et al., 2010: 335).

³³ Esta definición de direccionalidad es más amplia que la definición de Stirling (2008; 2009) quien se centra en un extremo del proceso; la necesidad de políticas de innovación las cuales se abren a una variedad de trayectorias diferentes.

³⁴ Stirling et al. desarrolló una herramienta de mapeo multi-criterios bastante útil para ayudar en este proceso, ver <http://www.sussex.ac.uk/mcm>.

La falla en la coordinación de la política se refiere a la falta de habilidad para coordinar horizontalmente las políticas desde varios dominios. Esto es diferente de la falla de coordinación del Marco 2 que se refiere a la coordinación entre actores en el dominio de la ciencia, la tecnología y la innovación. La falla en coordinación abordada por la política de innovación de cambio transformativo se trata de la coordinación de políticas sectoriales específicas para salud pública, transporte, energía, alimentos y agricultura, los cuales son de crucial importancia cuando los cambios en el sistema sociotécnico de estas áreas están en juego. Sin embargo, ya que el cambio transformativo implica la transformación de muchos sistemas, y al final también de la estructura de la economía y la sociedad, la coordinación con otras políticas transversales, que incluyen la política fiscal, económica y social, son vitales. Finalmente, existen fallas de coordinación de política multi-nivel a superar entre la política local, regional, nacional e internacional. El cambio transformativo necesita un enfoque gubernamental integral; aún así tal enfoque es propenso a trámites burocráticos, altos costos de transacción y alto control por parte de los líderes que se benefician con los sistemas sociotécnicos dominantes. Por tanto, se cuestiona si la creación de comités a cargo de coordinación y otras estructuras de coordinación, tales como consejos nacionales de investigación e innovación, bajo el enfoque usual serán capaces de superar dicha falla de política.

Argumentamos que el cambio transformativo requiere abordar la falla de coordinación integrando mejoras en la coordinación *durante la construcción* de trayectorias de cambio transformativo. El énfasis debería estar en la coordinación emergente y abierta dentro de un proceso de trabajo conjunto que lleve a un cambio transformativo. La noción de gobernanza tentativa propuesta por Kuhlmann and Rip (2014) captura este espíritu. Es definido como un enfoque que es provisional, modificable, dinámico y abierto y que incluye experimentación, aprendizaje, reflexividad, y reversibilidad. La experimentación es promovida por la literatura de las transiciones, por ejemplo a través del concepto de Gestión Estratégica de Nichos (Strategic Niche Management -SNM)³⁵ (Kemp et al., 1998; Schot & Geels, 2008), como uno de los medios para implementar coordinación dentro de la política de innovación. Aquí los experimentos son vistos como espacios temporales en el que actores de política, empresas, sociedad civil, usuarios y financiadores privados, entre otros, trabajan juntos en una variedad de trayectorias concretas. La gestión estratégica de nichos debería ser vista como una novedosa forma de política y acción e incluso una novedosa forma de gobernanza transformativa, y no solo como un medio para poner a prueba o demostrar soluciones novedosas (Turnheim et al., 2018). A menudo es difícil asegurar que tales espacios vayan más allá de la demostración técnica y de proyectos piloto. Los experimentos demandan que los actores acepten la incertidumbre y reconozcan las fallas como parte del proceso de aprendizaje, se focalicen en la articulación de nuevas expectativas y visiones compartidas, la construcción de nuevas redes, y la configuración de nuevos mercados (llamados nichos) que eventualmente desafiarán las prácticas predominantes de los principales mercados e instituciones.

Finalmente, se debe abordar la falla en reflexividad. Para Weber & Rohracher esta falla es acerca de la capacidad para monitorear, anticipar e involucrar a todos los actores en el proceso de auto-gobernanza del cambio transformativo. Esto es importante, pero en términos de falla nos gustaría recalcar una forma particular de reflexividad que está conectada con el aprendizaje profundo (o aprendizaje de segundo orden), el aprendizaje en el que los actores cuestionan sus creencias acerca de, por ejemplo, la movilidad y el consumo de energía (Schot & Geels, 2008). En la formulación de política, las opciones de tecnología son a menudo evaluadas tomando como referencia preferencias estables tales como la necesidad por movilidad y la provisión de extensos viajes en carro como se mostró en el ejemplo sobre

³⁵ Gestión estratégica de nichos es un método diseñado específicamente para facilitar la introducción y la difusión de nuevas tecnologías sostenibles a través de experimentos sociales.

el vehículo eléctrico. Por lo tanto, el énfasis sobre las baterías y no sobre los nuevos servicios de movilidad se debe a que el vehículo eléctrico es visto como un sustituto del automóvil de gasolina, no como un paso intermedio hacia un nuevo sistema de movilidad. El aprendizaje profundo asume que los actores evalúan críticamente sus propias preferencias y experimentos con alternativas. Al abordar la falla de reflexividad se debería: estimular la capacidad para tomar distancia y analizar las rutinas propias que están profundamente arraigadas (esto podría ser un futuro imaginario; o un conjunto de desafíos sociales y ambientales), las cuales conducen a comportamientos colectivos y a cambios sociotécnicos hacia la optimización en lugar de un cambio transformativo.

4.2. Marco 3: modelo de innovación y actores

En el modelo de innovación subyacente al Marco 3, no hay una única ni mejor trayectoria para lograr sostenibilidad, igualdad u otras metas socialmente deseadas. En lugar de ello, el proceso de innovación del sistema (que materializa la invención, la innovación y la difusión) involucra múltiples actores en la negociación de trayectorias alternativas que tienen el potencial de lograr un cambio en el sistema. En este marco, el modelo de innovación debe ser experimental porque, desde el principio, no se conoce una trayectoria que se ajuste al propósito de cumplir con los desafíos o sea viable en la aplicación a escala. Es únicamente a través de la acumulación de experiencias por parte de múltiples actores con diferentes motivaciones y prioridades que una o varias trayectorias aceptables pueden ser descubiertas e implementadas. El objetivo de la experimentación es generar un cambio sistémico y disruptivo que esté informado por el escepticismo de que cambios marginales en sistemas existentes pueden ser ineficaces. Aún así, no es claro como la experimentación puede generar un cambio transformativo, más allá del desarrollo del piloto y/o del nicho que le sigue a este cambio. La cuestión del afianzamiento y el escalamiento de experiencias no es suficientemente abordada en la literatura o en la práctica (Kivimaa et al., 2017).

La literatura de transiciones para la sostenibilidad sugiere que, aunque es importante contar con políticas para la implementación de experimentos con lo cuales construir nichos alternativos, esto no es suficiente. La combinación de política debería también contribuir a un proceso de desestabilización de los sistemas sociotécnicos fijos existentes (Turnheim & Geels, 2012; Kivimaa & Kern, 2016; Rogge & Reichardt, 2016; Kern et al., 2017). La resistencia al cambio por parte de las redes tradicionales que se benefician de los sistemas actuales puede ser muy fuerte. Tales redes incluyen a menudo industrias, departamentos del gobierno, usuarios y sociedad civil. Estos actores no perciben la necesidad de cambiar sus comportamientos y creen también que le pueden hacer frente a los desafíos futuros en los marcos existentes. La resistencia no se trata de intereses particulares y compromisos organizacionales sino también de valores y de un lock-in cognitivo y, al final, de reglas colectivas regulatorias, cognitivas y normativas prevalecientes que están arraigadas a los sistemas sociotécnicos dominantes. Obviamente, cualquier intento de nueva política debe explorar las políticas preexistentes y encontrar maneras de crear una superposición productiva de políticas nuevas y existentes.

Es importante resaltar que el Marco 3 no es principalmente un modelo de ciencia, tecnología y regulación. En lugar de ello, se focaliza en innovación como un proceso de búsqueda al nivel de sistema, guiado por objetivos sociales y ambientales, informado por experiencias y aprendizaje sobre tales experiencias, y una voluntad para re-examinar los acuerdos existentes con el fin de hacerlos menos rutinarios al mismo tiempo que se abordan desafíos sociales. Una afirmación que subyace al Marco 3 es que el proceso de innovación probablemente puede ser efectivo logrando estas metas si es inclusivo, experimental y está destinado a cambiar la dirección de los sistemas sociotécnicos en todas sus dimensiones. Ya que los sistemas sociotécnicos serán protegidos por beneficiarios de la actual

configuración y cuyas visiones de mundo y valores requerirían cambios sistemáticos, se necesita que la política de innovación transformativa se comprometa con el proceso político en el que están involucradas la ciencia y la tecnología y no solo con la política pública. El tipo de proceso político promovido es uno que abre espacios para experimentación, aprendizaje social, debate público, deliberación y negociación, como se dijo previamente al discutir el concepto de evaluación constructiva de tecnología (Rip, T.J. Misa & Schot, 1995; Schot et al., 2003).

El Marco 3 parte del modelo de innovación del Marco 1 que se focaliza en la inversión de I+D y en el incremento de los flujos de conocimiento útil en los cuales la interacción entre el gobierno y la comunidad científica es central, poniendo especial atención en temas de difusión. También parte del énfasis del Marco 2 sobre el aumento en la capacidad de absorción y de aprendizaje de los sistemas de innovación en el que se construyen redes de conocimiento entre organizaciones de productores y usuarios, se estimula la alineación y la coordinación de estas organizaciones para producir cambio tecnológico, y se facilita el emprendimiento al servicio de las metas de crecimiento, empleo y competitividad internacional. El modelo de innovación del Marco 1 y 2 supone el cumplimiento de las metas sociales y ambientales a través del crecimiento económico y de la posibilidad de redistribuir los excedentes generados por las mejoras en productividad, así como de la capacidad de las élites tecnocráticas para regular las externalidades al servicio de esas metas. En contraste, el Marco 3 reflexiona sobre estas metas sociales y valores subyacentes, los explora y los integra en los procesos de cambio sistémico. Es construido sobre: 1) la creencia de que los procesos de deliberación inclusivos dan lugar a compromisos más comunes en la búsqueda de soluciones efectivas a los desafíos sociales y ambientales; y 2) el reconocimiento de que estas soluciones necesitan de experimentación y aprendizaje sobre supuestos y valores subyacentes. El Marco 3 reconoce que los supuestos y valores son co-productos en estos procesos, tienen un carácter incipiente, y son más adecuados además de estar más consolidados durante los cambios del sistema. Este marco no asume consenso, en lugar de ello, la innovación subyacente prospera sobre la necesidad de identificar y trabajar con diversidad, desacuerdo y visiones de mundo en conflicto, reconociendo la contribución de una gran variedad de actores, y poniendo de manifiesto los procesos políticos involucrados en cualquier proceso de innovación.

El desarrollo y la implementación de la política de innovación requiere una nueva base de conocimiento. No una dominada por estudios de economía e innovación, sino una más interdisciplinaria en la que contribuyan los estudios de transiciones, de ciencia y tecnología y, más ampliamente, de gobernanza, historia de la tecnología y otros campos. Ya que la transformación es un proceso global, este requiere una integración profunda de los estudios de desarrollo. Se puede notar que las interacciones entre estos campos están emergiendo, pero que la visión general de las políticas de innovación tiene a menudo un alcance bastante limitado (Smits et al., 2010; Fagerberg et al., 2013; Fagerberg, 2016). Aún queda un camino largo por recorrer.

4.3. Marco 3: prácticas de política

Las acciones de política transformativa que se necesitan pueden ser traducidas en nuevas misiones públicas. Pese a ello, esto no será suficiente y puede conllevar a resultados problemáticos si es hecho de la manera equivocada. La inversión pública en sí misma no provocará la transformación del sistema (Kuhlmann & Rip, 2014; Foray et al., 2012). Las políticas orientadas por misión podrían ser productivas si las misiones son formuladas de una manera abierta que promueva la experimentación y diversidad. Nuevas formas de compromiso y de red son requeridas entre los actores de los sectores público, privado y de servicios.

Los cambios transformativos requieren un cambio en el estilo de vida y, de esta manera, en las prácticas de movilidad y del uso del agua, la energía, los alimentos, y otros recursos, no solo de los usuarios (o consumidores) sino también de los usuarios industriales y profesionales. Al fin y al cabo, el cambio no es solo sobre las nuevas estructuras de producción, sino también de los ambientes del usuario y del mercado en el cual los nuevos tipos de demandas y las preferencias de uso serán las dominantes (Ornetzeder & Rohracher, 2006). Mazzucato (2015; 2016) destaca la necesidad de estructurar y crear activamente. Tal proceso no puede ser dejado a los productores, sino que necesita involucrar a los usuarios en un rango amplio de capacidades: como usuario-productores (usuarios-emprendedores) que activamente encuentren nuevas soluciones; usuarios-actores en el papel de legitimadores que traigan nuevas visiones y expectativas para ayudar a determinar las decisiones de inversión y los cambios de política; usuarios actuando como intermediarios que creen contactos entre los productores y los grupos más grandes de usuarios; usuario-ciudadanos que presionen por reformas más amplias del sistema; y usuario-consumidores que desarrollen nuevos estilos de vida, preferencias y prácticas (Ornetzeder & Rohracher, 2006; Schot et al., 2016). Esta incorporación de usuarios va más allá de crear conciencia y/o medidas para articular la demanda existente. En cambio, las prácticas de política de innovación transformativa deberían buscar contribuciones activas y encontrar las maneras de asistir a los usuarios en la construcción de nuevas demandas, entornos y mercados.

En este marco es esencial reflexionar sobre las necesidades sociales y ambientales. El proceso de búsqueda debe ser guiado por mejoras en el proceso de *anticipación* de efectos colaterales y consecuencias. El desarrollo de procesos para hacer viable la anticipación es una prioridad del Marco 3. Algunas orientaciones sobre los procesos que facilitan la anticipación están disponibles en las prácticas de prospectiva y las actividades de los grupos evaluadores de tecnología. Sus principales esfuerzos están a menudo dirigidos a una aplicación comercial a gran escala destinada a alcanzar la próxima ola de oportunidad tecnológica que pueda abrir nuevas posibilidades, como en la evaluación tecnológica de la nanotecnología o biotecnología. En el Marco 3, el objetivo de la anticipación es identificar áreas de experimentación, y, al hacerlo, examinar las posibles consecuencias en términos del uso de energía y de materiales, la creación de posibles trabajos y los efectos sobre el ambiente de introducir y usar nuevos artefactos físicos y procesos de información. La deliberación anticipatoria aspira no a producir modelos, sino a generar múltiples posibilidades y diversas trayectorias. Ella le apunta a sostener un proceso de búsqueda colectiva y de aprendizaje y no una evaluación a corto plazo basada en un criterio limitado y un proceso de decisión de tipo binario Si/No.

La anticipación es por naturaleza especulativa. Mientras puede proveer un esbozo general de posibilidades, no puede prever los detalles que salen a la luz únicamente a través de experimentación y aprendizaje. Así, a la vez que es esencial, la anticipación debe ser incorporada con la experimentación dentro de un rango de posibilidades sugeridas por los ejercicios de anticipación. ¿Es mejor reciclar que reparar o mejorar? ¿Cuáles prácticas agrícolas demostrarán ser viables como alternativas a la actual dependencia de los combustibles fósiles para energía, fertilizantes, transporte y procesamiento? ¿Qué prácticas serán más efectivas en lograr construcciones e infraestructuras con emisiones netas de dióxido de carbono iguales a cero? Aquí argumentamos de nuevo que estas preguntas solo pueden ser contestadas a través de la experimentación a una escala que vaya más allá del laboratorio de I+D. Aboga por la experimentación social. Es solo a través de la actual práctica que la experiencia y el aprendizaje profundo son generados y que las ventajas y desventajas de una trayectoria de innovación particular pueden ser identificadas y remediadas por la revisión o la elección de una vía de desarrollo. El aprendizaje profundo ocurre colectivamente y permite cambios en los marcos y premisas cognitivos y es parecido al aprendizaje de segundo orden (Schot & Geels, 2008). La experimentación social debe incluir innovación desde abajo (o de base) con las comunidades y la sociedad civil (Smith & Seyfang, 2013). El

Marco 3 contempla que la experimentación crece y nutre nuevas trayectorias y, en el proceso, desafía a las firmas líderes y a las agencias gubernamentales que se alinean con estas firmas (ambos actores del régimen) para preservar la trayectoria existente. Como se argumentó, esto acarrea luchas políticas alrededor de la nueva meta de sostenibilidad y requiere que las redes tradicionales que abarcan a las firmas lleven a cabo una reorientación estratégica (Geels & Penna, 2015). En estos procesos el rol de los actores intermediarios en defender los nichos competitivos, las nuevas visiones y las políticas son cruciales (Kivimaa, 2014), como lo es la construcción de redes que abarcan al nicho y a los actores del régimen dominante (Diaz et al., 2013).

La necesidad por anticipación, experimentación, aprendizaje y formación de redes y alianzas sugiere nuevos acuerdos institucionales y estructuras de gobernanza que trasciendan las fronteras de los gobiernos, los mercados y la sociedad civil. También sugiere involucrar las finanzas públicas y privadas y nuevas maneras para compartir y apropiar las ganancias en conocimiento de estas actividades. Además de estos nuevos acuerdos institucionales, se necesitan maneras de conectar mejor las instituciones existentes para coordinar, así como registrar y aprender de los procesos de anticipación y aprendizaje. Esto requerirá nuevos conjuntos de destrezas para conectar las ciencias sociales y los campos de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (CTIM), los cuales han sido recientemente una prioridad de muchos países en su búsqueda por responder a los imperativos de la competencia internacional y al crecimiento económico a través del incremento de la productividad. Estas destrezas pueden ser desarrolladas a través de la práctica emergente de la investigación y la innovación responsables (Stilgoe et al., 2013; Rip, 2014). Cuando las metas de los sistemas sociotécnicos reflejen un rango de necesidades sociales y ambientales e ideas más inclusivas acerca del bienestar social, la conexión entre lo que es posible y lo que es deseable también requerirá individuos con más competencias para conectar dominios sociales, científicos y tecnológicos. Esto implica una reorientación de la política de educación y, en última instancia, una pedagogía que es consistente con las transiciones deseadas hacia resultados más sostenibles.

5. Discusión final

El Marco 3 se pregunta sobre las limitaciones de la ciencia, la tecnología y la innovación para abordar cuestiones de sostenibilidad y pobreza o distribución equitativa del ingreso. Estas limitaciones son vistas en gran medida como externas a la política de innovación de los Marcos 1 y 2. Esto hace que estos marcos sean parcialmente incompatibles. Aún así, nuestra articulación del Marco 3 no indica que los gobiernos deban abandonar completamente los Marcos 1 y 2. La inversión en infraestructura de conocimiento y en I+D es un importante componente de cualquier política de ciencia, tecnología e innovación así como la construcción de un conjunto de vínculos entre los principales actores y el fomento de las interacciones productivas y los procesos entre ellos en los contextos nacional, sectorial, regional, y en los sistemas transnacionales de innovación. Los contextos de política en el mundo real siempre involucrarán un amplio rango de instrumentos inspirados en varias racionalidades. La evolución de la política puede tener tres formas: adición de nuevas metas e instrumentos (superposición), adición de nuevas racionalidades y metas sin cambiar los instrumentos (desviación), y adición de instrumentos sin alterar las racionalidades (reconversión) (ver Kivimaa & Kern, 2016). Lo que hemos visto principalmente en nuestro trabajo del Consorcio de Política de Innovación Transformativa son formas de desviación y de reconversión, y en menor grado un proceso de superposición (Chataway et al., 2017). La superposición puede conducir también a inconsistencias y ahí es donde nuestro pensamiento sobre la combinación de los tres marcos debería comenzar: ¿Cuáles serían las nuevas formas de superposición?

Estimamos que las inconsistencias entre marcos e instrumentos pueden ser prevenidas al reflexionar sobre la superposición usando como lente un marco particular. Si analizáramos los Marcos 1 y 2 desde el lente del Marco 3, veríamos que las inversiones en I+D promovidas en el Marco 1 necesitarían estar alineadas con el proceso en curso de anticipación y experimentación y el establecimiento de trayectorias sostenibles. Determinar si la regulación limita el cambio de los sistemas sociotécnicos y de cómo esa regulación podría ser usada para contribuir al proceso transformativo, por ejemplo, mediante una tecnología de proceso que imponga estándares, es también necesario. Los procesos del Marco 2 en los cuales se fortalecen los sistemas de innovación y se promueve el emprendimiento también necesitan ser abiertos. Se necesita preguntar si los sistemas actuales y la actividad emprendedora solo conduce a una variedad relacionada³⁶, reforzando trayectorias insostenibles, o si también hay un alcance para la variedad no-relacionada³⁷, la cual permitiría un proceso de diversificación en nuevas y más direcciones sostenibles (Frenken, 2017). Adicionalmente, no solo es el aprendizaje mediante el uso, la producción y la interacción, los que deberían ser promovidos en el Marco 2 (todos estos son ejemplos de aprendizaje de primer orden), sino también el aprendizaje profundo, y esto puede ocurrir cuando los sistemas de innovación aceptan el conflicto, la diversidad y el desacuerdo. En el largo plazo, se deberían permitir las iniciativas del Marco 3 para determinar la composición y la direccionalidad de los sistemas de innovación y de inversión en I+D.

Sin embargo, aún cuando los actores de política fueran capaces de articular los marcos y así lograr una superposición productiva desde una perspectiva de Marco 3, sigue existiendo incompatibilidad entre los marcos; esta incompatibilidad debe ser navegada por los actores de política. Esto se debe a que el Marco 3 incita cuestionamientos más profundos acerca de la manera en que los sistemas sociotécnicos actuales de suministro se ajustan a las metas sociales y, en última instancia, acerca de la gobernanza de los procesos de innovación. Este marco argumenta que eventualmente necesitaremos un cambio transformativo en muchos sistemas de provisión de alimentos sostenibles, energía, movilidad, salud pública, agua y comunicaciones. Tal cambio no solo se refiere a la producción, sino también a la distribución y el consumo, por lo que involucra a todos los actores de la economía y la sociedad, y es de este modo dominante en la economía y la sociedad en general. La transformación requerida de todo un sistema podría ser llamada la Segunda Transición Profunda (Schot, 2016; Schot & Kanger, 2018; Kanger & Schot, 2018). Esta transición es profunda porque implica cambiar un grupo de direcciones profundamente arraigadas –por ejemplo, la producción en masa, el consumo en masa individualizado, la productividad, la intensidad del recurso, la intensidad del carbono, y la producción global— así compartidas, entre varios sistemas sociotécnicos. Estas direcciones han conducido a niveles altos de riqueza y bienestar en ciertos países, pero rezagado a muchas personas en los países en desarrollo y, actualmente, también están contribuyendo a aumentar la inequidad dentro de los países ricos y altamente innovadores. Adicionalmente, ellos conducen al aumento de la intensidad del recurso, al *lock-in* de carbono, y a las degradaciones ecológicas severas. Estas direcciones fueron creadas durante la Primera Transición Profunda a la modernidad industrial. La magnitud de los cambios sociales y técnicos requeridos por una Segunda Transición Profunda supone entrar en una nueva fase en la historia de la industrialización, el capitalismo industrial y quizás la modernidad. El marco implica construir una nueva

³⁶ La variedad relacionada se refiere a la diversificación regional o al grado al cual diferentes industrias de una región comparten varias similitudes que les permite intercambiar conocimiento y maximizar las oportunidades de aprendizaje y crecimiento de las industrias existentes así como de los recursos locales de crecimiento para las nuevas industrias.

³⁷ La variedad no-relacionada se refiere al grado al cual las industrias de una región comparten pocas similitudes que les permite intercambiar conocimiento y maximizar las oportunidades de aprendizaje y crecimiento de las industrias existentes así como de los recursos locales de crecimiento para las nuevas industrias.

relación entre el estado, el mercado y la sociedad civil, y más probablemente, nuevas formas de acción estatal pro-activa y emprendedora a nivel nacional así como a nivel de ciudad, de nuevas redes entre el estado, las empresas, la sociedad civil y las estructuras supranacionales que aseguran la coordinación global.

Eventualmente estas nuevas relaciones podrán deslegitimar el argumento de las fallas del mercado sobre el que descansa el Marco 1. Estas cuestionarán la contribución de la inversión I+D a las metas y propósitos sociales, y abogarán por el compromiso y la inversión gubernamental cuando dichas contribuciones estén ausentes. Ello puede conducir a que se coopere más intensamente con las inversiones del gobierno, interfiriendo en lo que es considerado un mercado libre, y así ser visto como un anatema del pensamiento del Marco 1. El Marco 3 bien podría llevar a replantearse sobre cuan relevante es la noción de los sistemas de innovación, quien está involucrado y quien puede hablar en beneficio de otros. En lugar de recomendar la construcción de varios tipos de sistemas de innovación, se puede llevar a concluir que el papel del gobierno es precisamente el opuesto: experimentar y transformar el conjunto de relaciones existentes y, por ejemplo, focalizarse sobre los vínculos locales y transnacionales en lugar de los nacionales.

Los Marcos 1 y 2 emergieron y se desarrollaron principalmente en los Estados Unidos y Europa, y han sido criticados desde una perspectiva de desarrollo. Ambos marcos asumen que los países en desarrollo necesitan alcanzar el nivel de los desarrollados, construir sus propios sistemas de procesos de innovación para absorber lo que proviene de los países desarrollados y construir su propia capacidad. El Marco 3 no asume que las innovaciones y el cambio del sistema sociotécnico vendrán necesariamente del norte global o que otros países necesitan hacer catching-up con esas innovaciones. Al contrario, la premisa es que el norte global y el sur global están en posición de experimentar y contribuir con el cambio transformativo y que el mutuo aprendizaje profundo puede ser beneficioso. En este marco, diversas trayectorias son promovidas y aspectos como generación local, experimentación y adaptación dentro de un proceso complejo de transformación del sistema deberían ser abarcadas.

Una pregunta final es si el cambio transformativo es una meta demasiado ambiciosa para la comunidad de académicos y profesionales comprometida actualmente con la política de ciencia, tecnología e innovación³⁸. Por un lado, la respuesta es claramente sí: tal cambio no puede ser logrado solamente por las políticas CTel; otras políticas también son necesarias. Uno debería ir aún más allá y reconocer que el cambio transformativo no se dará como causa de las nuevas políticas; es un proceso histórico más amplio, en el cual muchos actores ya participan activamente. La política de innovación transformativa debería ser vista como una respuesta a lo que está pasando en e impacta al mundo contemporáneo en transición. Nos gustaría agregar que los desafíos como están definidos y expresados en los ODS están muy presentes. Si las inequidades se vuelven más severas, las consecuencias del cambio climático y la contaminación comienzan a azotar más fuertemente, llevando, por ejemplo, a más migración e incluso a contribuir a más conflictos, el malestar popular y la amenaza del conflicto armado forzarán en últimas a los gobiernos y a otros actores a responder. La ciencia, la tecnología y la innovación tendrán que ser parte de esta respuesta ya que están inmensamente involucradas en la generación de todas estas llamadas externalidades. Por tanto, es urgente y oportuno para los responsables de la formulación de las políticas en esta área que no esperen, pero que desarrollen no solo un nuevo marco sino también que comiencen a experimentar con nuevas prácticas de política. Estos deberían hacerle frente a los desafíos sociales y ambientales y contribuir a transiciones más pacíficas y de bajo costo hacia nuevos sistemas sociotécnicos.

³⁸ La magnitud del desafío a esta comunidad ha sido explicada en Nelson (2013).

Agradecimientos

Esta investigación fue parcialmente financiada por el Consorcio de Política de Innovación Transformativa, un programa de colaboración con múltiples socios para la construcción de capacidades y la experimentación en política (ver [http:// tipconsortium.net/](http://tipconsortium.net/)).

Referencias

- Abramovitz, M., 1956. Resource and output trends in the United States since 1870. *Am. Econ. Rev.* 46 (2), 5–23.
- Arrow, K.J., 1962. Economic welfare and the allocation of resources for invention. In: Nelson, R. (Ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity*. National Bureau of Economic Research and Princeton University Press, Princeton NJ, pp. 609–625.
- Arthur, W.B., 1983. On Competing Technologies and Historical Small Events: the Dynamics of Choice Under Increasing Returns. IIASA Working Paper WP-83-090. IIASA, Laxenburg, Austria.
- Bardi, U., 2011. *The Limits to Growth Revisited*. Springer, New York, NY.
- Benford, R.D., Snow, D.A., 2000. Framing processes and social movements: an overview and assessment. *Annu. Rev. Sociol.* 26, 611–639.
- Bernal, J.D., 1939. *The Social Function of Science*. MIT Press, Cambridge MA.
- Boschma, R.A., 2005. Proximity and innovation: a critical assessment. *Reg. Stud.* 39 (1), 61–74.
- Bunnell, T., 2002. Multimedia utopia? A geographical critique of high-tech development in Malaysia's multimedia super corridor. *Antipode* 34 (2), 265–295.
- Bush, V., 1945. *Science: The Endless Frontier: A Report to the President on a Program for Postwar Scientific Research*. United States Office of Scientific Research and Development (1945), National Science Foundation (reprint 1960), Washington DC.
- Callon, M., 1994. Is science a public good? Fifth Mullins Lecture, virginia polytechnic institute, 23 March 1993. *Sci. Technol. Hum. Values* 19, 395–424.
- Carson, R., 1962. *Silent Spring*. Houghton Mifflin, New York.
- Castells, M., Hall, P.A., 1994. *Technopoles of the World: Making of 21st Century Industrial Complexes*. Routledge, New York NY.
- Chataway, J., Hanlin, R., Kaplinsky, R., 2014. Inclusive innovation: an architecture for policy development. *Innov. Dev.* 4 (1), 33–54.
- Chataway, J., Daniels, C., Kanger, L., Ramirez, M., Schot, J., Steinmueller, W.E., 2017. Developing and enacting transformative innovation policy: a comparative study. Paper Presented at the 8th International Sustainability Transitions Conference Downloaded on 14 July 2018 from. <http://tipconsortium.net/wp-content/uploads/2018/04/Developing-and-enacting-Transformative-Innovation-Policy-A-Comparative-Study.pdf>.
- Cohen, W.M., Levinthal, D.A., 1989. Innovation and learning: the two faces of R&D. *Econ. J.* 99 (397), 569–596.
- Cohen, L., Noll, R., 1991. *The Technology Pork Barrel*. The Brookings Institution Press, Washington DC.
- Colistete, R.P., 2010. Revisiting Import-substituting Industrialisation in Post-war Brazil. Downloaded on 14 July 2018 from. Department of Economics, University of Sao Paulo. Munich Personal RePEc Archive. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/24665/1/MPRA_paper_24665.pdf.
- Collins, H.M., 1974. The TEA set: tacit knowledge and scientific networks. *Sci. Stud.* 4, 165–186.
- Cooke, P., 2001. Regional innovation systems, clusters and the knowledge economy. *Ind. Corp. Change* 10 (4), 945–974.
- Dasgupta, P., David, P.A., 1994. Toward a new economics of science. *Res. Policy* 23 (5), 487–521.

- David, P.A., 1975. *Technical Choice, Innovation and Economic Growth*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Diaz, M., Darnhofer, I., Darrot, C., et al., 2013. Green tides in Brittany: what can we learn about niche-regime interactions? *Environ. Innov. Soc. Transit.* 8, 62–75.
- Dutrénit, G., Sutz, J. (Eds.), 2014. *National Systems of Innovation. Social Inclusion and Development. The Latin American Experience*. Edward Elgar, Cheltenham UK.
- Edquist, C. (Ed.), 1997. *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. Pinter, London.
- Etzkowitz, H., 1998. The norms of entrepreneurial science: cognitive effects of the new university–industry linkages. *Res. Policy* 27, 823–833.
- Etzkowitz, H., 2008. *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action*. Routledge, New York NY.
- Etzkowitz, H., Leydesdorff, L. (Eds.), 1997. *Universities and the Global Knowledge Economy: A Triple Helix of University-Industry-Government Relations*. Cassell Academic, London.
- European Commission, 2010. *Europe 2020: a Strategy for Smart, Sustainable and Inclusive Growth COM (2010)*. European Commission Brussels.
- Fagerberg, J., 2016. Innovation policy: rationales, lessons and challenges. *J. Econ. Surv.* 31 (2), 497–512.
- Fagerberg, J., Martin, B.R., Andersen, E.S. (Eds.), 2013. *Innovation Studies. Evolution, Future and Challenges*. Oxford University Press, Oxford.
- Foray, D., Mowery, D.C., Nelson, R.R., 2012. Public R&D and social challenges: what lessons from mission R& D programs. *Res. Policy* 41 (10), 1697–1702.
- Freeman, C., 1974. *The Economics of Industrial Innovation*. Penguin, London.
- Freeman, C., 1987. *Technology and Economic Performance: Lessons From Japan*. Pinter, London.
- Freeman, C., 1988. Japan: a new national system of innovation. In: Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R.R., Silverberg, G., Soete, L. (Eds.), *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, London, pp. 330–348.
- Frenken, K., 2017. A Complexity-theoretic Perspective on Innovation Policy. *Complexity*. Downloaded on 14 July 2018 from. *Governance and Networks*, pp. 35–47. <http://ubp.uni-bamberg.de/ojs/index.php/cgn/article/view/41/pdf>.
- Friedman, T.L., 2005. *The World Is Flat: A Brief History of the Twenty-First Century*. Farrar Straus Giroux, New York.
- Galison, P., Hevly, B. (Eds.), 1992. *Big Science: The Growth of Large-Scale Research*. Stanford University Press, Stanford CA.
- Garnsey, E., Heffernan, P., 2005. High-technology clustering through spin-out and attraction: the Cambridge case. *Reg. Stud.* 39 (8), 1127–1144.
- Geels, F.W., Penna, C.C.R., 2015. Societal problems and industry reorientation: elaborating the Dialectic Issue LifeCycle (DILC) model and a case study of car safety in the USA (1900–1995). *Res. Policy* 44 (1), 67–82.
- Geiger, R.L., 1993. *Research and Relevant Knowledge: American Research Universities since World War II*. Oxford University Press, New York NY.
- Gertler, M.S., 2001. Best practice? Geography, learning and the institutional limits to strong convergence. *J. Econ. Geogr.* 1, 5–26.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., et al., 1994. *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. Sage, London.
- Goffman, E., 1974. *Frame Analysis: An Essay on the Organization of the Experience*. Harper Colophon, New York NY.
- Graham, O., 1994. *Losing Time: The Industrial Policy Debate*. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Grin, J., Rotmans, J., Schot, J., 2010. *Transitions to Sustainable Development: New Directions in the Study of Long Term Transformative Change*. Routledge, New York NY.

- Irwin, A., 2006. The politics of talk: coming to terms with the 'new' scientific governance. *Soc. Stud. Sci.* 36 (2), 299–320.
- Jorde, T., Teece, D., 1990. Innovation and cooperation: implications for competition and antitrust. *J. Econ. Perspect.* 4 (3), 75–96 (Summer).
- Kanger, L., Schot, J., 2018. Deep transitions: theorizing the long-term patterns of socio-technical change. *Environ. Innov. Soc. Transit.* <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.07.006>.
- Kaplinsky, R., 2011. Schumacher meets Schumpeter: appropriate technology below the radar. *Res. Policy* 40 (2), 193–203.
- Keeley, B., 2015. *Income Inequality: the Gap Between Rich and Poor*. OECD (OECD Insights), Paris.
- Kemp, R., Schot, J., Hoogma, R., 1998. Regime-shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management. *Technol. Anal. Strateg. Manag.* 10, 175–196.
- Kenney, M. (Ed.), 2000. *Understanding Silicon Valley: The Anatomy of an Entrepreneurial Region*. Stanford University Press, Stanford CA.
- Kern, F., Kivimaa, P., Martiskainen, M., 2017. Policy packaging or policy patching? The development of complex energy efficiency policy mixes. *Energy Res. Soc. Sci.* 23, 11–25.
- Kim, L., 1999. *Learning and Innovation in Economic Development*. Edward Elgar, Cheltenham UK.
- Kivimaa, P., 2014. Government-affiliated intermediary organisations as actors in system-level transitions. *Res. Policy* 43 (8), 1370–1380.
- Kivimaa, P., Kern, F., 2016. Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Res. Policy* 45 (1), 205–217.
- Kivimaa, P., Hildén, M., Huitema, D., Jordan, A., Newig, J., 2017. Experiments in climate governance. a systematic review of research on energy and built environment transitions. *J. Cleaner prod.* 169, 17–29.
- Kline, S.J., Rosenberg, N., 1986. An overview of innovation. In: Landau, R., Rosenberg, N. (Eds.), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. National Academic Press, Washington D.C, pp. 275–305.
- Kuhlmann, S., Rip, A., 2014. The Challenge of Addressing Grand Challenges. A Think Piece on How Innovation Can Be Driven Towards the “Grand Challenges” As Defined Under the European Union Framework Programme Horizon 2020, Report to ERIAB. <https://doi.org/10.13140/2.1.4757.184>.
- Kulicke, M., Krupp, H., 1987. The formation, relevance and public promotion of new technology-based firms. *Technovation* 6 (1), 47–56.
- Kuznets, S., 1973. Modern economic growth: findings and reflections. *Am. Econ. Rev.* 63 (3), 247–258.
- Light, J.S., 2003. *From warfare to welfare. Defense Intellectuals and Urban Problems in Cold War America*. John Hopkins University Press, Baltimore MD.
- Link, A.N., Scott, J.T., 2003. The growth of Research Triangle Park. *Small Bus. Econ.* 20 (2), 167–175.
- London, T., Hart, S.L., 2004. Reinventing strategies for emerging markets: beyond the transnational model. *J. Int. Bus. Stud.* 35 (5), 350–370.
- Longhi, C., 1999. Networks, collective learning and technology development in innovative high technology regions: the case of Sophia-Antipolis. *Reg. Stud.* 33 (4), 333–342.
- Lundvall, B.-A., 1985. *Product Innovation and User-Producer Interaction*. Aalborg University Press, Aalborg DK.
- Lundvall, B.-A. (Ed.), 1992. *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter, London.
- Lundvall, B.-A., 1988. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to national systems of innovation. In: Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R.R., Silverberg, G., Soete, L. (Eds.), *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, London.
- Lundvall, B.-A., Joseph, K.J., Chaminade, C., et al., 2009. *Handbook of Innovation Systems and Developing Countries*. Edward Elgar, Cheltenham UK.

- Machin, S., Vignoles, A., 2015. Education Policy in the UK. Centre of the Economics of Education. London School of Economics, London. <http://cee.lse.ac.uk/ceedps/ceedp57.pdf>.
- Markard, J., Raven, R., Truffer, B., 2012. Sustainability transitions: an emerging field of research and its prospects. *Res. Policy* 41 (6), 955–967.
- Martin, B., Irvine, J., 1989. *Research Foresight: Priority Setting In Science*. Pinter, London.
- Martin, B., Johnston, R., 1999. Technology foresight for wiring up the national innovation system. *Technol. Forecast. Soc. Change* 60, 37–54.
- Mazzucato, M., 2013. *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Anthem Press, London.
- Mazzucato, M., 2015. Innovation systems: from fixing market failures to creating markets. *Intereconomics* 50 (3), 120–125.
- Mazzucato, M., 2016. From market fixing to market-creating: a new framework for innovation policy. *Ind. Innov.* 23 (2), 140–156.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., et al., 1972. *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books, New York NY.
- Meadows, D.L., Randers, J., Meadows, D.L., 2004. *Limits to Growth: The 30-Year Update*. Chelsea Green, White River Junction VT.
- Miller, S., 2001. Public understanding of science at the crossroads. *Public Underst. Sci.* 10 (1), 115–120.
- Mowery, D.C., Rosenberg, N., 1989. *Technology and the Pursuit of Economic Growth*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Nelson, R.R., 1959. The simple economics of basic scientific research. *J. Polit. Econ.* 67 (3), 297–306.
- Nelson, R.R., 2013. In: Fagerberg, Martin, Andersen (Eds.), *Reflections on the Study of Innovation and on Those Who Study It*, pp. 187–193 2013.
- OECD, 2015. *System Innovation: Synthesis Report*. OECD, Paris.
- Ornetzeder, M., Rohracher, H., 2006. User-led innovations and participation processes: lessons from sustainable energy technologies. *Energy Policy* 34, 138–150. Oudshoorn, N., Pinch, T. (Eds.), 2003. *How Users Matter: The Co-Construction of Users and Technology*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Prebisch, R., 1950. *The Economic Development of Latin America and Its Principal Problems*. United Nations Department of Economic Affairs, Lake Success, NY.
- Radjou, N., Prabhu, J., Ahuja, S., 2012. *Jugaad innovation: think frugal, Be flexible. Generate Breakthrough Growth*. Jossey-Bass/Wiley, London.
- Rip, A., 2014. The past and future of RRI. *Life Sci. Soc. Policy* 10 (17), 1–15.
- Rip, A., Schot, J., Misa, T.J., 1995. *Managing technology in society: the approach of constructive technology assessment*. Pinter, London and New York.
- Rogge, K.S., Reichardt, K., 2016. Policy mixes for sustainability transtions: an extended concept and framework for analysis. *Res. Policy* 45 (8), 1620–1635.
- Rosenberg, N., 1990. Why do firms do basic research (with their own money). *Res. Policy* 19 (2), 165–174.
- Sagasti, F.R., 1980. The two civilizations and the process of development. *Prospects (UNESCO)* 10 (2), 123–139.
- Saxenian, A., 1996. *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Schön, D., Reid, M., 1994. *Frame Reflection of Intractable Policy Controversies*. Basic Books, New York NY.
- Schot, J., 2016. Confronting the second deep transition through the historical imagination. *Technol. Cult.* 57 (2), 445–456.

- Schot, J., Geels, F.W., 2008. Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy. *Technol. Anal. Strateg. Manag.* 20 (5), 537–554.
- Schot, J., Kanger, L., 2018. Deep transitions: emergence, acceleration, stabilization and directionality. *Res. Policy* 6, 1045–1059.
- Schot, J., 2003. The contested rise of a modernist technology politics. In: Misa, T.J., Brey, P., Feenberg, A. (Eds.), *Modernity and Technology*. The MIT Press, Cambridge, MA, pp. 257–278.
- Schot, J., Kanger, L., Verbong, G., 2016. The roles of users in shaping transitions to new energy systems. *Nat. Energy* 1, 1–7.
- Schumacher, E.F., 1974. *Small Is Beautiful*. Abacus Press, London.
- Schumpeter, J.A., 1947. *Capitalism, Socialism and Democracy*, Second edition. Harper and Row, New York NY.
- Schumpeter, J.A., 1949. *The Theory of Economic Development*. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Singer, H., 1950. The distribution of gains between investing and borrowing countries. *Am. Econ. Rev.* 40 (2), 473–485.
- Smith, A., 1960. 1776]. *The Wealth of Nations*. The Modern Library. Random House, New York.
- Smith, A., Seyfang, G., 2013. Constructing grassroots innovations for sustainability. *Glob. Environ. Change* 23 (5), 827–829.
- Smits, R., Kuhlmann, S., Shapira, P., 2010. *The Theory and Practice of Innovation Policy: An International Research Handbook*. Edward Elgar, Cheltenham UK.
- Soete, L., 1985. International diffusion of technology, industrial development and technological leapfrogging. *World Dev.* 13 (3), 409–422.
- Soete, L., 2013. From emerging to submerging economies: new policy challenges for research and innovation. *Sci. Technol. Innov. Policy Rev.* 4 (1), 1–13.
- Solow, R.M., 1957. Technical change and the aggregate production function. *Rev. Econ. Stat.* 39 (3), 312–320.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., 2015. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science* 347 (6223), 736–746.
- Steinmueller, W.E., 2010. Economics of technology policy. In: Hall, B., Rosenberg, N. (Eds.), *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 2). North Holland, Amsterdam, pp. 1181–1218.
- Steward, F., 2012. Transformative innovation policy to meet the challenge of climate change: socio-technical networks aligned with consumption and end-use as new transition arenas for a low-carbon society or green economy. *Technol. Anal. Strateg. Manag.* 24 (4), 3331–3343.
- Stewart, F., 1973. *Technology and Underdevelopment*. MacMillan, London.
- Stewart, F., 2008. Technology and underdevelopment. *Dev. Policy Rev.* A 10 (1), 92–105.
- Stilgoe, J., Owen, R., Macnaghten, P., 2013. Developing a framework for responsible innovation. *Res. Policy* 42 (9), 1568–1580.
- Stirling, A., 2008. ‘Opening up’ and ‘closing down’ power, participation, and pluralism in the social appraisal technology. *Sci. Technol. Hum. Values* 33 (2), 262–294.
- Stirling, A., 2009. *Direction, Distribution, Diversity! Pluralising Progress in Innovation, Sustainability and Development*. STEPS Working Paper 32. STEPS Centre, University of Sussex.
- Stokes, D.E., 1997. *Pasteur’s Quadrant - Basic Science and Technological Innovation*. Brookings Institution Press, Washington DC.
- Tatsuno, S., 1986. *The Technopolis Strategy: Japan, High Technology, and the Control of the Twenty-First Century*. Prentice Hall, New York NY.
- Taylor, C., 2003. *Modern Social Imaginaries*. Duke University Press, Durham NC.
- Tindemans, P., 2009. *Post-war research, education and innovation policy-making Europe*.

- In: Delanghe, H., Muldur, U., Soete, L. (Eds.), *European Science and Technology Policy: Towards Integration or Fragmentation?* Edward Elgar, Cheltenham UK, pp. 3–24.
- Turnheim, B., Geels, F.W., 2012. Regime destabilisation as the flipside of energy transitions: lessons from the history of the British coal industry (1913-1997). *Energy Policy* 50, 35–49.
- Turnheim, B., Kivimaa, P., Berkhout, F. (Eds.), 2018. *Innovating Climate Governance: Moving Beyond Experiments*. Cambridge University Press, Cambridge.
- United Nations, 2015. *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Downloaded on 29 November 2017 from. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>.
- US Congress, 1969. *Hearings Before the joint committee on atomic energy. 91st Congress, First Session, 17-18th April, Part 1*.
- van Zanden, J.L., Baten, J., d’Ercole, M.M., et al., 2014. *How Was Life? Global Well-being since 1820*. OECD Development Centre, Paris.
- Vig, N., Paschen, H., 2000. *Parliaments and Technology. The Development of Technology Assessment in Europe*. State University Press of New York Press, New York, NY.
- von Hippel, E., 1976. The dominant role of users in the scientific instrument innovation process. *Res. Policy* 5 (3), 212–239.
- von Hippel, E., 1988. *The Sources of Innovation*. Oxford University Press, New York NY.
- von Hippel, E., 1994. ‘Sticky information’ and the locus of problem solving: implications for innovation. *Manag. Sci.* 40 (4), 429–439.
- Weber, K.M., Rohracher, H., 2012. Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change. Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive ‘failures’ framework. *Res. Policy* 41, 1037–1047.