

# Un análisis de la Estructura del progreso tecnológico

María Alejandra Rivillas Hernández

Universidad de Caldas

Facultad de artes y humanidades, Departamento de filosofía

Manizales, Colombia

2022

# Un análisis de la Estructura del progreso tecnológico

María Alejandra Rivillas Hernández

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en filosofía

Directora:

Doctora Daian Tatiana Flórez Quintero

Universidad de Caldas

Facultad de artes y humanidades, Departamento de filosofía

Manizales, Colombia

2022

*A mi querida maestra Daian Tatiana Flórez Quintero quien siempre ha creído en mí y sin ninguna pretensión me ha sumergido en el frondoso camino del conocimiento, sembrando la semilla de la superación personal y profesional. Sin ella este logro jamás habría sido posible, todo mi cariño respeto y admiración.*

*¡Gracias por tanto!*

## RESUMEN

Vivimos en una era marcada por los avances tecnológicos. Es por ello que durante los últimos años se ha acrecentado el interés por la reflexión filosófica sobre la tecnología, sin embargo, ella aún no goza del prestigio que se le atribuye a otras reflexiones mejor establecidas, como la filosofía de la ciencia. Esto explica por qué aún no existen teorías articuladas que expliquen, *inter alia*, el desarrollo tecnológico.

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo es formular un modelo que explique cómo progresa la tecnología, para ello se mostrará que el modelo cíclico de progreso científico propuesto por el filósofo norteamericano Thomas Kuhn es compatible con el desarrollo histórico de la tecnología y que por tanto es posible explicar el desarrollo tecnológico a partir del cumplimiento de las condiciones necesarias y suficientes de dicho modelo. El argumento histórico central será la máquina de vapor, iniciando con un periodo de *tecnología pre-paradigmática* caracterizado por la ausencia de un paradigma y la proliferación de escuelas en competencia. Posteriormente se establece la máquina de vapor como *diseño paradigmático* dando lugar a un episodio de *tecnología normal* durante el cual se concentraron todos los esfuerzos de los técnicos e ingenieros en el perfeccionamiento de dicha máquina generando importantes innovaciones tecnológicas. Posteriormente se presenta un periodo marcado por las *anomalías y las crisis* lo que desencadena una *revolución tecnológica* que da como resultado la sustitución de la máquina de vapor por el motor de combustión interna.

**Palabras claves:** filosofía de la tecnología, técnica, máquina de vapor, tecnología.

## ABSTRACT

Nowadays, we live in an era marked by technological advances. That is why, in recent years, the interest in philosophical reflection about technology has increased, however, such a reflection still does not get the prestige attributed to other, more established reflections, like the philosophy of science. This explains why there are no yet articulated theories that explain, *inter alia*, technological development.

Based on the information above, the objective of this work is to formulate a model that explains how technology progresses, for this it will be evidenced that the cyclical model of scientific progress proposed by the North American philosopher Thomas Kuhn is compatible with the historical development of technology and that it is possible to explain technological development from the following stages: pre-paradigmatic technology, normal technology and revolutionary technology.

Through the historical development of the steam engine, the fulfillment of the necessary and sufficient conditions of scientific progress according to the Kuhnian model of science is reflected as follows: *pre-paradigmatic technology* period during which there was a need to increase force of work without having a valid paradigm, what made that proliferation of schools in competition took place.

Subsequently, an episode of *normal technology* was developed, during this period all efforts were concentrated on improving the steam engine, generating important technological innovations, until finally it was replaced by the internal combustion engine through a *technological revolution*.

**Keywords:** philosophy of technology, technology, technical, steam machine.

## Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
I Capítulo: Sobre la existencia de diseños paradigmáticos en tecnología .....	8
II CAPÍTULO: Condiciones necesarias y suficientes del progreso científico. ....	31
III CAPÍTULO: ¿Qué es el progreso tecnológico? .....	55
CONCLUSIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78

## Tabla de ilustraciones

*Ilustración 1* ..... 62

Ilustración 2 ..... 77

## INTRODUCCIÓN

La reflexión filosófica sobre la tecnología adquirió una consistencia disciplinar hace tan sólo unas décadas atrás, por lo que no parece gozar, todavía, del prestigio que se le atribuye a otro tipo de reflexiones mejor establecidas, como la filosofía de la ciencia. Además, dichas reflexiones no están firmemente ancladas en una tradición reconocible y sólida, lo que no deja de arrojar alguna sombra de duda sobre su valor o pertinencia. Esto hace que sea necesario decir algunas palabras que sirvan de contexto a las razones que llevaron, lenta y paulatinamente mis intereses filosóficos desde el análisis de algunos de los problemas típicos en el dominio de la filosofía de la ciencia hacia esa fascinante y nueva sub-área de la filosofía: *la filosofía de la tecnología*.

Por muchos años las reflexiones en filosofía de la tecnología fueron poco cultivadas, de ahí que autores como Bunge afirmen que “ni la tecnología ha interesado a los filósofos, ni la filosofía a los ingenieros” (Bunge, 1980:189), mientras que otros como Jarvie señalan que la filosofía de la tecnología ha sido la cenicienta de los objetos sobre los que se dirige la reflexión filosófica y que esta actitud hostil de los filósofos se debe a que la tecnología parece ser la provincia exclusiva de los ingenieros y de otros no-caballeros, por lo que no ha representado un asunto de gran preocupación para los filósofos más puristas. (Cfr. Jarvie, 1966:50). Lo anterior resulta paradójicamente llamativo si concedemos que vivimos en la era de la tecnología y no en la era de la ciencia, razón por la cual pensadores como Diéguez & Zamora afirman que “se han ensayado algunas explicaciones para este olvido, se ha dicho que la orientación teorícista de la filosofía la cegaba para percibir la importancia de la tecnología que, en tanto que saber práctico, era tenida como una tarea menor” (Diéguez & Zamora, 2015:11). Sin embargo, en la actualidad el panorama parece alentador ya que, durante los últimos años, la filosofía de la tecnología ha tenido un desarrollo creciente en el ámbito académico internacional.

Mientras la filosofía de la tecnología como disciplina autónoma se encuentra todavía en desarrollo, la filosofía de la ciencia -con la que guarda una estrecha relación de vecindad conceptual y epistemológica- ya se había consolidado como una disciplina autónoma y madura durante el período entre guerras. Esto es llamativo si tenemos en cuenta que hay un

conjunto de problemas comunes a ambas disciplinas, entre los que sobresale averiguar cuál es la relación que existe entre ciencia y tecnología. Respecto a esta discusión hay quienes afirman que la tecnología es un caso particular de la ciencia, cuya diferencia principal estriba en los niveles de generalidad y aplicabilidad de las soluciones. Otros, como Quintanilla (2017) consideran que se puede distinguir entre ciencia pura y ciencia aplicada, ya que la primera es eminentemente teórica, mientras que la segunda, por lo general, puede reducirse a las aplicaciones prácticas de la primera. Algunos más radicales, como James Feibleman (1983) afirman que es necesario distinguir entre ciencia pura, ciencia aplicada y tecnología, la diferencia entre ciencia aplicada y tecnología estriba en que la primera exige la formulación previa de un conjunto de conocimientos teóricos que se ponen a prueba por medio de la práctica científica, mientras que la segunda no requiere de ningún conocimiento científico previo, lo que convierte al desarrollo tecnológico en una realización independiente de la formulación de toda teoría científica. Así, el ingeniero no tiene que ser un científico puro dado que sus acciones están encaminadas hacia la búsqueda de una solución eficaz para satisfacer una necesidad práctica. También se han formulado algunas versiones deflacionarias en las que se identifica a la tecnología con ciencia aplicada, como la sostenida por Flórez & García (2017) quienes afirman que es posible mantener dicha identificación basados en la consideración de que diseñar es una actividad, una instanciación de lo que Ryle (1980) llamó *saber cómo*, de tal manera que no es necesario que quien realiza un diseño conozca de manera explícita las leyes de la ciencia que está aplicando en su diseño. A mi juicio, esta es la postura que mejor define la relación existente entre ciencia y tecnología, ya que podemos afirmar que hay un conjunto de principios que explican el funcionamiento de cada artefacto, aun cuando dicha explicación teórica no se haya formulado explícitamente en el momento del diseño, tal y como lo ilustra el caso histórico de la máquina de vapor, la cual precedió en más de medio siglo a la formulación de los principios científicos que explican su funcionamiento (Flórez & García 2017)<sup>1</sup>. De hecho, Watt patentó su máquina en 1769 y sólo

---

<sup>1</sup> Quintanilla (2017) distingue entre la técnica pre-industrial y la tecnología moderna. Esta distinción resulta interesante dado que ambas responden a la misma necesidad. La primera se desarrolla antes del siglo XVIII y supone una producción eminentemente artesanal. Sin embargo, la distinción anterior es cuestionada por Raynaud (2018) dado que, en su opinión, la creencia de que la tecnología es fundamentalmente un producto moderno, mientras que la técnica pertenece al mundo antiguo, es falsa. Una prueba de ello es que las *temperaturas* vitruvianas son la aplicación de una ley óptica en la elección de las medidas de los edificios, lo cual a juicio de Raynaud es suficiente para darle una base científica. (Cf. Raynaud, 2018: 43)

hasta 1824 (55 años después), se publicó la famosa obra del padre de la termodinámica, Sadi Carnot -y que puede ser considerada el acta de nacimiento de la termodinámica- *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, en la cual se formularon algunos de los principios que explican el funcionamiento de dicha máquina; 81 años después de patentado el invento de Watt, Clausius y Lord Kelvin formularon la primera y segunda ley de la termodinámica.

Este tipo de problemas suscitó la siguiente preocupación: si la tecnología es, en algún sentido filosóficamente interesante, ciencia aplicada, quizás alguno de los modelos filosóficos disponibles en la filosofía de la ciencia podría servir al propósito de analizar los mecanismos que explican el progreso tecnológico. Mi búsqueda estuvo motivada, adicionalmente, por el hecho de que en el dominio mismo de la filosofía de la tecnología no disponemos aún de teorías filosóficas articuladas que expliquen el desarrollo tecnológico.

Podemos ver mejor el alcance de este planteamiento si tenemos en cuenta que, mientras en el dominio de la filosofía de la ciencia disponemos *prima facie* de diversas teorías para explicar el progreso científico, *e.g.*, la teoría acumulativista que suscribieron los miembros de la Concepción Heredada; la teoría popperiana según la cual la ciencia progresa mediante un mecanismo no-acumulativo de conjeturas y refutaciones, el modelo kuhniano (que aquí suscribo y presentaré en detalle) y el modelo lakatosiano que se supone integra lo mejor de sus contrapartes, *i.e.*, lo mejor del modelo popperiano y del modelo kuhniano<sup>2</sup>. En el dominio de la filosofía de la tecnología no disponemos aún de una teoría filosófica sistemática capaz de explicar el progreso tecnológico, y que pueda compararse con las que tenemos en el dominio de la filosofía de la ciencia.

Tal vez el trabajo más influyente que se propone explicar el progreso tecnológico sea el del filósofo polaco Henryk Skolimowski (1966), quien examinó los patrones de pensamiento en

---

De cualquier modo, si la tecnología es un conocimiento de base científica, el diseño de cualquier artefacto implica necesariamente el conocimiento previo de algunos principios teóricos. Bunge (2007) es partidario de una idea similar en la que afirma que “la ingeniería agronómica no debería ser incluida en la tecnología actual si prescindiese de la genética y de la teoría de la evolución”. Bunge, M. *Tecnología y Filosofía*. En: *Epistemología*. Editorial Ariel: España, 1980, p. 207.

<sup>2</sup> Por supuesto que a la luz de algunas de las corrientes actuales en la filosofía de la ciencia, como la concepción modelo-teórica también podría servir al análisis del desarrollo en tecnología; sin embargo, las razones que expondré a lo largo de este trabajo justifican ampliamente mi elección de la teoría kuhniana de la ciencia.

tecnología. Según sus planteamientos, tales patrones corresponden a los singulares mecanismos que explicarían el progreso tecnológico en distintas sub-áreas de la tecnología. Así, por ejemplo, el mecanismo que explica el progreso en la ingeniería civil sería la durabilidad y en el dominio de la ingeniería mecánica sería la eficiencia. Con todo, dicho análisis no alcanza a ser una teoría filosófica general del progreso tecnológico<sup>3</sup>.

Debido a lo anterior, y partiendo del supuesto de que la tecnología es ciencia aplicada, en este trabajo defenderé la tesis de que la teoría filosófica que mejor sirve al propósito de explicar la naturaleza del progreso tecnológico es el modelo propuesto por el físico e historiador norteamericano Thomas Kuhn (1962). Para adelantar dicha tarea, examinaré las condiciones necesarias y suficientes que según el modelo kuhniano explican el progreso científico y argumentaré que estas condiciones explican, a su vez, la naturaleza del progreso tecnológico. En apoyo de esta tesis ofreceré un gran *argumento histórico* que parte de los desarrollos previos a la máquina atmosférica, hasta el diseño del motor de combustión interna. En este argumento identificaré una fase de tecnología pre-paradigmática, la cual corresponde a los desarrollos previos a la máquina atmosférica. Posteriormente, mostraré cómo dicho invento cumple con las condiciones necesarias y suficientes de un diseño paradigmático, afirmando que existe un periodo de tecnología normal. Adicionalmente, mostraré que en el examen del desarrollo tecnológico podemos identificar aquellos patrones que dan lugar a los descubrimientos tecnológicos y a las anomalías, las cuales desencadenan una crisis por la incapacidad del diseño paradigmático –máquina atmosférica- para ofrecer soluciones efectivas a las demandas productivas de la sociedad. Lo anterior da como resultado una revolución tecnológica durante la cual la máquina atmosférica es sustituida por la máquina de vapor, estableciéndose así, un nuevo diseño paradigmático. Ello da lugar a un nuevo ciclo de tecnología normal que continua hasta que una nueva crisis conduce a la sustitución de esta por el motor de combustión interna.

Ahora bien, puesto que mi estrategia argumentativa se basa principalmente en un argumento histórico, encuentro que es necesario recordar al lector que un argumento histórico, se caracteriza porque en sus premisas se recurre a la historia como fuente primaria de evidencia.

---

<sup>3</sup> Para un análisis más detallado ver: Skolimowski, *The Structure of Thinking in Technology* (1966). En: *Philosophy and Technology: Readings in the philosophical problems of technology*. Carl Mitcham and Robert Mackey (ed). The Free press, New York, 1983.

De hecho, Kuhn ofrece frecuentemente argumentos históricos a favor de su teoría filosófica de la ciencia, dado que en su opinión: “la historia contribuye a salvar la brecha que hay entre las teorías filosóficas de la ciencia y la ciencia real” (Cf. Kuhn, 1987:37). Para el físico norteamericano el recurso a la historia de la ciencia es mucho más que una fuente de ejemplos, pues la historia misma puede servir como evidencia. En la conferencia Isenberg, Kuhn (1968), expresa esta idea de la siguiente manera: “*asombrado, me di cuenta de que la historia podía serle útil al filósofo de la ciencia, y todo ello de maneras que trascendiesen su papel clásico de fuente de ejemplos*”. (p. 28)

Recordemos que Kuhn ofrece una nueva imagen de la filosofía de la ciencia, con base en la cual ésta es mucho más que la formulación de un conjunto de principios que orientan la actividad científica -lo cual consiste en una tarea fundamentalmente normativa-. De acuerdo con lo anterior, el filósofo de la ciencia también puede describir los mecanismos singulares que conducen al progreso. Aunque Kuhn se ocupó principalmente del estudio de la historia de la física, por su formación como físico, ello no constituye en ningún sentido una limitación para determinar si su modelo también consigue explicar el desarrollo tecnológico, ya que él mismo afirma al inicio de *The Structure of Scientific Revolutions* – en adelante, *SScR*- que su teoría puede tener un gran potencial al ser llevada hacia otras áreas de la investigación teórica y meta-teórica (Cf. Kuhn, 1969: xii). Adicionalmente, debemos considerar que entre los argumentos que Kuhn ofrece, también recurre a varios casos históricos que pertenecen propiamente al dominio de la tecnología y no al dominio de la ciencia pura, como lo ilustra el caso del descubrimiento de la botella de Leyden. Siguiendo esta idea, argumentaré que es posible explicar el desarrollo tecnológico a partir de las fases que integran el modelo kuhniano.

Para desarrollar adecuadamente los propósitos de mi trabajo emplearé una estrategia que combina exposición y argumentación. En desarrollo de tal estrategia, en el primer acápite analizaré algunos conceptos básicos para el desarrollo de mi propuesta, entre ellas la noción misma de “diseño paradigmático”. El análisis de esta locución me permitirá abonar el terreno para defender la tesis de que es posible explicar el desarrollo tecnológico a partir del modelo kuhniano del progreso científico. En el segundo acápite presentaré el modelo de progreso científico propuesto por Thomas Kuhn, que, como seguramente lo sabrá el lector se trata de

un modelo cíclico en el que la noción de progreso se desarrolla *prima facie* en tres niveles: progreso por acumulación, por sustitución y por especiación. El modelo Kuhniano resulta especialmente influyente en el concierto de la filosofía de la ciencia ya que es la síntesis de los mejores modelos de progreso científico vigentes hasta los años 60, a saber, el modelo acumulativo de la Concepción Heredada<sup>4</sup> y el modelo por sustitución propuesto por Popper (1939/2005).

En el tercer capítulo de este trabajo, y a partir del estudio de las fases que integran el desarrollo histórico del diseño de la máquina de vapor, defenderé la tesis de que el desarrollo tecnológico se compone por los siguientes periodos: (i) *tecnología pre-paradigmática*, que corresponde al uso de fuentes primitivas de energía, (ii) *tecnología normal* que está guiada por un diseño paradigmático cuyas modificaciones no son substanciales y son el resultado de innovaciones incrementales, (iii) *anomalías, descubrimientos y crisis* donde se evidencia que el diseño paradigmático ha dejado de funcionar correctamente (iv) *tecnología revolucionaria* en la que un diseño paradigmático es sustituido por otro, en éste caso, la máquina atmosférica es sustituida por la máquina de vapor y posteriormente la máquina de vapor es sustituida por el motor de combustión interna.<sup>5</sup>

Por supuesto, siempre será posible alegar que el progreso tecnológico puede ser explicado con base en otros modelos filosóficos de la ciencia, incluso se podría demandar un modelo completamente autónomo que dé cuenta por sí mismo de este fenómeno. Sin embargo, considero que el modelo kuhniano explica de manera satisfactoria el cambio tecnológico, de tal suerte que la tecnología avanza, -de modo semejante a como progresan las ciencias básicas- a partir del tránsito de episodios normales a episodios revolucionarios.

Para terminar, quiero tomar prestadas las palabras de Quintanilla, afirmando que este trabajo es el resultado “de ensayar en la filosofía de la tecnología un tipo de enfoque que ha resultado

---

<sup>4</sup> Como bien se sabe, Hilary Putnam fue quien introdujo la locución “concepción heredada” (“received view”) para referirse a las tesis que defendían un grupo de filósofos “herederos” del Positivismo Lógico de finales de los años 20s, y algunos miembros de la Escuela de Berlín. (Cfr. Putnam. *What Theories Are Not?* 1966)

<sup>5</sup> La idea de que en el desarrollo tecnológico podemos identificar episodios de desarrollo normal y de desarrollo radical esta insinuada por Quintanilla (2017) y Vicenti (1990) divide los diseños tecnológicos en normales y radicales, afirmando que estos son opuestos ya que los primeros son el resultado de novedades incrementales aplicadas sobre el mismo proceso, mientras que los segundos obedecen a cambios radicales en el principio operativo.

fructífero en la filosofía de la ciencia, con el intento de articular, en lo posible, de forma sistemática este nuevo campo de investigación” (Quintanilla, 2017:44). Además, este trabajo no constituye una valoración moral desde la filosofía de la tecnología, sino que, en su lugar, ofrezco un análisis de los mecanismos singulares que explican el progreso tecnológico, de tal suerte que si hay eficiencia hay progreso. El progreso tecnológico se logra *prima facie* a partir de dos vías: el incremento de la eficiencia en los diseños disponibles y la introducción de nuevas tecnologías. Este progreso se da desde un punto de partida, lo que me permite hablar de progreso acumulativo y no teleológico, a partir del cual se busca la eficiencia en nuestras acciones las cuales terminan por conducir a cambios revolucionarios en tecnología.

La investigación requerida para redactar este trabajo se realizó durante los últimos tres años de mis estudios en el programa Maestría en Filosofía. Como es de esperar, la manera en la que abordo los problemas aquí presentados, al igual que la tesis y los argumentos que ofrezco en su defensa, son controversiales. Es por ello que aliento a mis eventuales lectores a formular los reparos y objeciones que no logré anticipar en el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, quisiera manifestar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que me acompañaron, motivaron, alentaron e impulsaron en el desarrollo de este trabajo. Especialmente a mi tutora Daian Tatiana Flórez Quintero quien me acompañó durante todo el desarrollo de este trabajo, y me brindó su orientación, sus conocimientos e intuiciones, sin más pretensiones que compartir todo el saber que ha adquirido a lo largo de su frondoso recorrido académico. Sus palabras, aportes y conocimientos fueron esenciales para la culminación de esta investigación.

## I Capítulo: Sobre la existencia de diseños paradigmáticos en tecnología

### *El caso histórico de la máquina de vapor*

Es bien sabido que una de las nociones más problemáticas de la teoría kuhniana de la ciencia es, precisamente, la noción de “paradigma”. Se trata de un término controversial, no sólo por su aparente ambigüedad (Masterman, 1970), sino porque de ser correcta esta acusación, la teoría kuhniana colapsaría inevitablemente, al estar construida sobre un término filosóficamente endeble y oscuro.

Sobre la base de lo anterior, podría parecerle al lector de este trabajo, que es una empresa completamente necia y absurda, defender -tal y como lo haré en este escrito- que el modelo kuhniano de la ciencia, no sólo sirve al propósito de explicar cómo progresa la ciencia, sino que adicionalmente permite explicar -con notable éxito- el progreso tecnológico.

Sin embargo, para evitar precisamente las confusiones y oscuridades conceptuales de las cuales adolece inevitablemente *SScR*, en este capítulo aprovecharé el ejercicio de clarificación que recientemente ha adelantado Flórez (2023, *forthcoming*) sobre el término “paradigma”; en conjunción con un análisis conceptual de los términos “diseño” y “tecnología”. Lo anterior es decisivo, para defender adecuadamente la tesis de este capítulo, a saber, que *hay diseños paradigmáticos en la tecnología*, los cuales, por su naturaleza, son la unidad epistémica básica para la explicación del progreso mismo en tecnología. Para defender la tesis anterior voy a ofrecer un argumento histórico: el diseño de la máquina de vapor.

### *Sobre la naturaleza de los diseños en tecnología*

Un examen filosófico de las condiciones que hacen posible el progreso tecnológico no debe perder de vista que lo propio de la tecnología es diseñar. Así como la tradición filosófica en ciencia, muestra que lo propio de esta es *teorizar*<sup>6</sup>, pareciera *prima facie* que lo propio de la tecnología es *diseñar*, crear artefactos. Sin embargo, el contraste entre los propósitos de una y otra actividad no es tan nítido como quisiéramos, dado que la tecnología es una actividad

---

<sup>6</sup> “La actividad científica es una de las formas de esa práctica que hemos denominado genéricamente *teorización*”. Díez y Moulines, (1999) *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia*. Barcelona: editorial Ariel, p.17.

tan compleja como la ciencia. Como actividad, la tecnología involucra no sólo el conjunto de acciones requeridas para diseñar, sino que además comprende, y no con poca frecuencia, acciones encaminadas a la investigación, lo cual exige de los tecnólogos experimentar<sup>7</sup>, simular, calcular y medir.

La tradición filosófica también señala que entre los productos arquetípicos de la ciencia están las teorías científicas, en contraste, con los productos de la tecnología: los artefactos. Sin embargo, como bien, lo han mostrado los filósofos de la tecnología, en tecnología también se formulan teorías. (Flórez, 2021), (Bunge, 1980), (Raynaud, 2018).

Con base en lo anterior, podemos decir que hay *prima facie* dos propósitos hacia los cuales se dirigen los esfuerzos de los ingenieros -y demás tecnólogos<sup>8</sup>-, a saber: la investigación para crear o diseñar; y la investigación para conocer: formular teorías, experimentar, etc. Aunque en tecnología también se formulan teorías, es necesario aclarar que la investigación en tecnología difiere de la que se lleva a cabo en ciencia básica, en sus propósitos. Mientras la investigación aplicada está dirigida a resolver problemas prácticos (*e.g.*, saber qué materiales son más resistentes); la investigación básica se propone satisfacer nuestro natural apetito por conocer (*e.g.*, cómo está compuesta la naturaleza)

Antes de examinar qué es un diseño tecnológico, es necesario, por los propósitos que me he trazado en este trabajo, examinar qué es la tecnología. Aquí suscribiré ampliamente la explicación que Flórez (2021) ha defendido, y con base en la cual propone un análisis de la estructura epistémica de la tecnología, en conjunción con una defensa vigorosa de la tecnología como ciencia aplicada. En lo que sigue resumiré, algunos de los puntos esenciales de su propuesta.

Si atendemos el análisis la estructura epistémica de la tecnología, lo primero que hay que señalar con vehemencia es que la tecnología hace parte de la estructura lógica de nuestro conocimiento (Flórez, 2021) y Jarvie (1967). Este no es un reconocimiento menor, si tenemos en cuenta que -como lo dice Flórez (2021), los epistemólogos han descuidado durante largo

---

<sup>7</sup> Para un análisis más detallado de la experimentación en ingeniería, remito al lector interesado al texto: *Introduction to Engineering experimentation*. Anthony J. Wheeler & Ahmad R. Ganji (1996). Prentice Hall, New Jersey.

<sup>8</sup> Aquí suscribiré con (Flórez) (Bunge) y (Jarvie) la tesis de que la ingeniería es una sub-área de la tecnología.

tiempo el análisis de la tecnología como una forma genuina de conocimiento. Este olvido puede atribuirse a diversas razones, entre las cuales sobresale el hecho de que, tradicionalmente, no se ha considerado a la tecnología como un tipo conocimiento, sino más bien como una manera de usarlo o aplicarlo.

Con base en lo anterior, ¿sobre qué argumentos podemos reclamar un lugar para la tecnología en la estructura lógica de nuestro conocimiento? La respuesta de Flórez -y en ello sigue parcialmente a Jarvie (1967)- consiste en indicar, precisamente, que la tecnología comprende tanto una *saber qué*; como un *saber cómo*. Seguramente el lector ya advirtió que la estrategia argumentativa aquí consiste en recurrir en la célebre distinción de Ryle en su *The Concept of Mind*. La motivación por la cual suscribo el análisis de Flórez estriba en que, a diferencia de lo que se ha mantenido de ordinario en las reflexiones -aún recientes- en la filosofía de la tecnología, de que la tecnología sólo involucra el *saber cómo*; lo que parece dejarnos, como muy bien lo señala Flórez, con una imagen tremendamente deflactada del conocimiento tecnológico. Ella, por el contrario, sostiene que la tecnología involucra tanto un *saber que*, como un *saber cómo*. De hecho, las razones con base en las cuales motiva el reclamo de un lugar para la tecnología en el dominio del conocimiento se pueden formular de manera esquemática así. Llamémoslo *el argumento de la estructura epistémica* de la tecnología:

*Argumento de la estructura epistémica de la tecnología:*

(P<sub>1</sub>) Si la tecnología involucra tanto un *saber que*, como un *saber cómo*, entonces la tecnología hace parte de la estructura lógica de nuestro conocimiento.

(P<sub>2</sub>) la tecnología involucra tanto un *saber qué*, como un *saber cómo*.

[C] Por lo tanto, la tecnología hace parte de la estructura lógica de nuestro conocimiento.

El análisis de la estructura epistémica de la tecnología que Flórez ofrece se puede resumir a partir de la siguiente ecuación 1; o (E<sub>1</sub>) [Tecnología= *saber qué* + *saber cómo*]

Para comprender la fuerza del argumento anterior, es necesario remontarnos a la célebre distinción que hace Gilbert Ryle en su *The Concept of Mind* entre *saber qué* y *saber cómo*, de acuerdo con la cual estos saberes corresponden a dos tipos de conocimiento que son de

distinta naturaleza; y que además son enteramente independientes entre sí. Mientras el *saber qué* se refiere a nuestro conocimiento proposicional, el *saber cómo*, se refiere, por contraste, a nuestras habilidades y disposiciones. A la tesis que plantea que el *saber qué* y el *saber cómo* son dos tipos de conocimiento distintos e independientes, se le conoce en la literatura epistemológica como *anti-intelectualismo*. Por el contrario, a la tesis que plantea que el *saber cómo*, es solo una forma de conocimiento proposicional, se suele clasificar bajo la etiqueta, acuñada por el propio Ryle, de *intelectualismo*.

La posición de Flórez a este respecto es atractiva, dado que, a diferencia de lo que han sostenido de ordinario los filósofos, quienes terminan por identificar a la tecnología sólo con el *saber cómo*, (como Marc de Vries (2017) o Vermaas (2011)), Flórez; por el contrario, sostiene que la tecnología involucra tanto un *saber qué*, como un *saber cómo*; y promete ofrecer una comprensión de la estructura misma del conocimiento tecnológico. Para ello, sostiene que los tipos de saber que componen dicha estructura se caracteriza porque:

- (i) La tecnología como actividad compleja involucra un *saber qué*, el cual comprende conocimiento teórico o conocimiento proposicional, que bien puede ser formulado a partir de *teorías propias* en la tecnología<sup>9</sup>, o bien puede estar basado en el conocimiento teórico que proviene de las ciencias puras (*e.g.*, la ingeniería agronómica<sup>10</sup>).
- (ii) Además, la tecnología involucra un *saber cómo* o conocimiento práctico que comprende, *inter alia*, las habilidades para diseñar. Ésta, por supuesto, no parece ser una característica distintiva de la tecnología, ya que la actividad científica, también involucra *un conjunto de prácticas* que se pueden identificar con el *saber cómo*, entre ellas: contrastar y experimentar; y *entidades*, constructos o productos, tales como

---

<sup>9</sup> Son amplios los ejemplos que se ofrecen en la literatura filosófica sobre teorías tecnológicas. Flórez (2021, *forthcoming*) ha señalado en el dominio de la ingeniería estructural: la teoría de vigas y la teoría de placas y láminas. Bunge (1966/1974) Raynaud (2018) Kroes. P. (1992) On the Role of Design in Engineering Theories; Pambour's Theory of the Steam Engine. In *Technological Development and Science in the Industrial Age*, P. Kroes and M. Bakker, eds., pp. 69-98. Kluwer, 1992.

<sup>10</sup> Sobre esta ingeniería dice Bunge: “no incluiríamos en la tecnología actual una agronomía que prescindiese de la genética y de la teoría de la evolución”. (Bunge: 1980, 207)

leyes, teorías, conjeturas, hipótesis, que parecen muy bien corresponder con *el saber que*, (o conocimiento proposicional).

Con base en lo anterior, es claro que no se identifica a la tecnología, en la línea que sigue la tradición filosófica, con el *saber-cómo simpliciter*. Lo que Flórez sostiene es que la tecnología involucra tanto un *saber cómo*, (*i.e.*, un conocimiento práctico, como el involucrado en las operaciones de diseño, que exigen de los ingenieros todo tipo de habilidades), como un *saber qué*. Ahora bien, el *saber cómo* no se refiere solamente a las actividades de diseño. Como ya se indicó, en el dominio de la ingeniería también hay experimentación, simulaciones, cálculos, medidas. Aunque no es controversial que se identifique a la tecnología con un *saber cómo*, sí que lo es que se identifique en su estructura el *saber que*, o un conocimiento teórico. Ello porque se suele identificar a la tecnología como una actividad exclusivamente dirigida al diseño, mientras se identifica a la ciencia como una actividad fundamentalmente teorizadora (*i.e.*, es propiamente en el dominio de la ciencia básica donde se formulan teorías). Sin embargo, basta con mostrar que hay teorías genuinas en el dominio de la tecnología -como ya se indicó arriba-para rebatir esta creencia.

A partir de lo anterior, Flórez (2021c) propone la siguiente definición de tecnología:

*X corresponde a un conocimiento tecnológico syss:*

(i) involucra un *saber cómo*, *i.e.*, un conjunto de habilidades y destrezas necesarias para las actividades de diseño, además de las que exigen las simulaciones y los experimentos en ingeniería. En otras palabras, la tecnología comprende un conjunto de acciones (intencionadas y no-intencionadas<sup>11</sup>) capaces de transformar la naturaleza o la sociedad con el propósito de satisfacer nuestras necesidades o deseos. Lo anterior es posible gracias a la creación o modificación de objetos, (*e.g.*, artefactos, dispositivos), estructuras o procesos.

(ii) Involucra un *saber qué*; esto es, comprende conocimiento proposicional que se caracteriza por tener distintos niveles de complejidad. Puede corresponder a: (1) saber qué funciona, (2) o bien puede ser la aplicación de los principios explicativos de una teoría

---

<sup>11</sup> Es necesario hacer esta distinción, dado que en la tecnología abundan los descubrimientos serendípicos (*e.g.*, la botella de Leyden) los cuales se pueden considerar también como el resultado de acciones no-intencionadas, *i.e.*, difícilmente podríamos decir que, el propósito de Muschenbroke era diseñar un capacitor. Él realmente ni sabía que tenía entre manos un capacitor.

formulada en una ciencia básica (por ejemplo, en el diseño de la bomba atómica se aplica, *inter alia*, el conocimiento derivado del descubrimiento en la física de la fisión del uranio)<sup>12</sup>; (3) un conjunto de proposiciones tecnológicas, que se formularían en las teorías o leyes tecnológicas.

(iii) Aunque el conocimiento tecnológico es la combinación de estos dos tipos de saberes, ellos son distintos en naturaleza.

De acuerdo con Flórez, por la característica (ii) de la tecnología, se podría pensar que el *saber que* es una *conditio sine qua non* para diseñar un artefacto. Y esto es justamente lo que quiere defender, pese a que en la historia de la tecnología abundan los ejemplos que ilustran que *al parecer* ha sido posible diseñar artefactos sin disponer de una teoría sistemática y articulada que explique su funcionamiento. El caso paradigmático que se aduce como prueba primaria de lo anterior, es justamente el diseño de la máquina de vapor.

En efecto, mientras la máquina de vapor fue patentada por el ingeniero mecánico James Watt en 1769, tuvimos que esperar 50 años para que la ciencia que explica su funcionamiento, *i.e.*, la termodinámica “viera la luz” cuando Sadi Carnot publicó, en 1824, sus *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*. También sabemos que casi 81 años después Lord Kelvin y Clausius publicaron su descubrimiento de las leyes de la termodinámica. Con base en estos acontecimientos se argumenta que, puesto que el diseño de la máquina de vapor precede en décadas a la teoría científica que explica – de manera sistemática– su funcionamiento, la tecnología no es ciencia aplicada. No obstante, -como bien lo argumentan Flórez y García (2022, *forthcoming*)- la opinión suscrita mayoritariamente por algunos filósofos y algunos historiadores según la cual Watt inventó la máquina de vapor sin echar mano de ningún recurso teórico parece falsa.

Un examen cuidadoso de los registros históricos revela que, para la invención de la máquina de vapor, Watt disponía de recursos teóricos que sirvieron de base para el diseño e invención del

---

<sup>12</sup> Son abundantes los casos que apoyarían la tesis de que la tecnología moderna no podría progresar sin el beneficio de la ciencia (*i.e.*, sin los principios explicativos que se formulan en la ciencia básica), entre ellos la telefonía ya que está basada en las propiedades de las ondas electromagnéticas; el motor de un auto, cuyo diseño se guía por las leyes de la termodinámica; el transporte aéreo, basado en la ley de la conservación de la energía; la televisión digital, en las leyes de la mecánica cuántica.

motor a vapor, pues estaba firmemente comprometido con la que se conocería como *teoría material del calor*. Aunque ésta es una teoría aún más arcaica –o primitiva– que la misma teoría del calórico<sup>13</sup>, la teoría material del calor planteaba que el calor era una sustancia química (Miller 2009, p. 44). Dicha teoría también postulaba la existencia del calor latente. La terminología asociada a este concepto fue introducida por Black para explicar los cambios de estado (*e.g.*, líquido a gaseoso). Tanto Black como Watt entendían el calor latente como una propiedad química intrínseca de la materia ordinaria. (Flórez y García, 2022, *forthcoming*)

A partir del análisis crítico mantenido por Flórez y García, se colige que aún se puede mantener que es válida la identificación de la tecnología con ciencia aplicada. A esta identificación la llamaré *ecuación 2*; o (E<sub>2</sub>) [tecnología =ciencia aplicada].

Con base en ello, cabe preguntarnos ¿son compatibles el análisis de la estructura epistémica de la tecnología, formulada en (E<sub>1</sub>), con la formulada en (E<sub>2</sub>)? La respuesta es obviamente que sí, dado que el *saber qué* corresponde o bien a las teorías formuladas en las ciencias básicas -incluso por muy incipientes que sean (como lo ilustra el caso de la máquina de vapor)-; o bien comprende aquellas teorías propias de la tecnología.

Tras adelantar una presentación resumida de la teoría que Flórez ha venido desarrollando en los últimos años sobre la naturaleza misma del conocimiento tecnológico, ya estamos en condiciones de analizar ¿qué es un diseño tecnológico? Para ello, voy a suscribir, nuevamente, y de manera amplia, la posición de Flórez (2021) quien, aunque no tiene aún un análisis articulado sobre la naturaleza de los diseños tecnológicos, sí que nos propone un examen interesante sobre las condiciones necesarias y suficientes para decir que X es un diseño tecnológico.

---

<sup>13</sup> La teoría del calórico fue una teoría ampliamente defendida durante el siglo XVIII que explicaba el calor como *un fluido hipotético que impregnaba la materia*. Entre sus más afamados defensores tuvo al padre de la química moderna Antoine Lavoisier. Las ideas del maestro de Watt fueron decisivas para la maduración misma de la teoría del calórico: “A partir de las ideas de Black se afianzó la teoría que defendía la existencia de un fluido invisible que entraba y salía de una sustancia aumentando o disminuyendo su temperatura. La teoría del calórico se basaba en dos premisas fundamentales: i) El fluido no se crea ni se destruye, ii) La cantidad de calórico transportado hacia o desde el objeto es directamente proporcional a la masa y a la temperatura del objeto. De esta forma, al introducir más calórico en una sustancia, esta se calentaba, hasta que finalmente el calórico se desbordaba y fluía en todas direcciones. Esta era la razón por la cual la calidez de un objeto al rojo vivo se dejaba sentir a gran distancia; el calor del sol, por ejemplo, se notaba a 150 millones de kilómetros. Al poner en contacto un objeto caliente con otro frío, el calórico fluía desde el primero al segundo. Ese flujo hacía que el objeto caliente se enfriara y que el frío se calentara” (Taton, 1972).

Aunque en las Universidades se suele distinguir entre las actividades dirigidas a la investigación en ingeniería –la cual de acuerdo con Bunge tendría una estructura hipotético-deductiva (1980)–; y las operaciones de diseño, es llamativo que en la literatura filosófica y en los manuales de ingeniería se sostenga que la estructura lógica propia de los diseños es también deductiva. Esta perspectiva es defendida por Krick (1991) y por Quintanilla (2017).

Para Krick, por ejemplo, diseñar consiste en: “resolver problemas prácticos que surgen del reconocimiento de una necesidad o deseo que, en apariencia, se puede satisfacer mediante un dispositivo, una estructura o un proceso. (Krick: 1991:85). Un ejemplo que ilustra, cómo las operaciones de diseño tienen como punto de partida un problema práctico, es el diseño de un nuevo tipo de lavadora. Las restricciones que se establecerían para su diseño son las siguientes: que no mida más de 80 cm de ancho, 80 cm de fondo y 100 cm de altura. Además, debe funcionar con corriente alterna de 60 ciclos y 115 voltios; debe sobrepasar con éxito los tests de protección al usuario; y el costo no debe sobrepasar los 125 dólares. Ese nuevo prototipo tiene que poder lavar telas naturales y sintéticas. Con base en estas condiciones, Krick examina la siguiente estructura en el diseño, en el que podemos discernir desde las variables de entrada (o *inputs*) hasta las restricciones planteadas al ingeniero (por ejemplo, la seguridad para el usuario):

- **Variables de entrada:** peso de la carga (no mayor de 8kg), tipo de tela (naturales y sintéticas).
- **Salida:** limpieza, suciedad, grado de encogimiento.
- **Variables de solución:** materiales de construcción, forma de la pieza, métodos para desprender la suciedad.
- **Criterios en el diseño:** costo, facilidad de manejo, seguridad, efectividad de limpieza, peso, ruido. (Krick, 1991:85-88).

Nótese que esta es una estructura enteramente deductiva, ya que se caracteriza por partir de problemas; o si se prefiere consta de unos datos de entrada (*inputs*) y otros de salida (*outputs*). Para Quintanilla la estructura de los diseños tecnológicos también es deductiva. De hecho, el filósofo español aprovecha la analogía entre la estructura deductiva de los descubrimientos científicos para examinar la estructura propia de los diseños. En su opinión:

El problema del diseño técnico consiste en descubrir sistemas de acciones que nos permitan conectar situaciones de partida con objetivos deseables, de forma semejante a como en la ciencia se conectan hechos a través de estructuras teóricas (*i.e.*, se deducen hechos a partir de leyes) (Quintanilla: 2017: 106-107).

No voy a controvertir aquí, si hay o no una suerte de “sesgo deductivista” en el análisis de la estructura de la investigación o de las operaciones de diseño en ingeniería que han adelantado ingenieros y filósofos, ya que por los propósitos que me he trazado en este trabajo, por lo pronto, basta con mostrar que la búsqueda de soluciones técnicas en ingeniería tiene la estructura propia de la investigación racional. Sin embargo, no sobra decir que, para trabajos posteriores, bien valdría la pena examinar si la investigación en ingeniería y las operaciones de diseño involucran otro tipo de patrones de razonamiento (*e.g.*, inductivos y abductivos).

De acuerdo con Quintanilla, “diseñar es concebir un sistema intencional de acciones capaces de transformar objetos concretos de forma eficiente para conseguir un objetivo que se considera valioso”. (2017:104) Para el ingeniero Krick, por contraste, diseñar consiste en resolver problemas prácticos que surgen del reconocimiento de una necesidad o deseo que, en apariencia, se puede satisfacer mediante un dispositivo, una estructura o un proceso. (Cfr. Krick, 1991: 37)

De otro lado, para Wright “los diseños de un ingeniero pueden ser tan pequeños e intrincados como un microchip para un sistema de computación, o tan grandes y complejos como un transbordador espacial. Realizar un diseño en ingeniería es concebir, imaginar, trazar y planificar un dispositivo, una estructura, un proceso o un sistema que beneficie a las personas. (Wright. 2007: 121-122).

Como las definiciones anteriores no me satisfacen completamente, suscribiré la definición que Flórez ofrece (2021), de acuerdo con la cual: un diseño X comprende un conjunto de acciones (intencionadas y no-intencionadas) capaces de transformar la naturaleza o la sociedad con el propósito de satisfacer nuestras necesidades o deseos. Lo anterior es posible gracias a la creación o modificación de objetos, (*i.e.*, artefactos, dispositivos), estructuras o

procesos, cuyo resultado bien puede ser una técnica completamente nueva (invención); o la aplicación de una técnica ya disponible o incluso una modificación de ésta (innovación).

Con base en lo anterior, podemos formular la definición de diseño, de manera esquemática así:

X es un diseño tecnológico syss:

- (i) Hay un agente X (o varios) quien ejecuta un conjunto de acciones (intencionadas y no-intencionadas) Y. Recordemos que es necesario hacer especial énfasis en la distinción entre “acciones intencionadas” y “no-intencionadas”, porque estas últimas explican, al menos en parte, la naturaleza de los descubrimientos serendípicos<sup>14</sup> en tecnología.
- (ii) Las acciones Y que X ejecuta transforman la naturaleza o la sociedad con el propósito de satisfacer nuestras necesidades o deseos.
- (iii) Como efecto de las acciones Y se crea o modifica un objeto (*i.e.*, se crean artefactos, dispositivos, estructuras o procesos).
- (iv) Las acciones Y o conducen a una invención, o a una innovación<sup>15</sup>.

Ahora bien, ¿cuáles son las ventajas filosóficas de suscribir el análisis que Flórez ofrece de los diseños, en comparación con la definición que ofrecen Quintanilla y los ingenieros Krick y Wright? Hay *prima facie* dos ventajas. La primera de ellas estriba en que, como es bien sabido, la definición adecuada de un término, debe establecer las condiciones necesarias y suficientes para caracterizarlo e individualizarlo (Bunge, 1985:19). Atendiendo a esta exigencia, Flórez indica, las condiciones necesarias y suficientes para sostener que X es un diseño. Tal vez haciendo un esfuerzo, la definición de Quintanilla también se podría formular en esos mismos términos, sin embargo, esta definición adolece de dos defectos no menores. El primero es que, como en su opinión, un diseño es “es *concebir* un sistema *intencional* de

---

<sup>14</sup> Los descubrimientos serendípicos son aquellos hallazgos afortunados que realizan de manera inesperada bien sea a causa de un accidente o porque se está buscando algo distinto.

<sup>15</sup> Por invención podemos entender que es “un diseño que introduce una novedad técnica, es decir, que supone el descubrimiento de una nueva técnica. La novedad puede afectar a los componentes, a los resultados o a la estructura de la técnica” (Quintanilla, 2017:113).

acciones” basta con que el agente contemple o conciba en su mente un conjunto de acciones, sin que las ejecute, para que ello ya cuente como un diseño. Si ello es así, basta que alguien, como Calvino conciba -en las recámaras de su cerebro- una máquina capaz de inventar novelas para que un artefacto ingenioso, mentalmente concebido, ya sea en sí mismo un diseño: “Calvino imagina una máquina capaz de volcar sobre el papel todos esos elementos que acostumbramos a considerar son parte de los más recónditos atributos de la intimidad psicológica de los personajes” (...) podríamos concebir una máquina que mediante algoritmos escupa en menos de tres días una novela”. (Cfr. Berti, 2017:52)

Adicionalmente, la definición de Quintanilla parece redundante, cuando afirma que lo que se concibe es “un sistema intencional de acciones”. Bien sabemos que todas las acciones hacen parte del conjunto de los fenómenos intencionales. Lo que sí es necesario distinguir en este conjunto son las acciones intencionadas, *i.e.*, aquellas que se ejecutan con un propósito deliberado; de aquellas acciones no-intencionadas, por ejemplo, que te pise sin querer.

En ello radica justamente la segunda bondad de la definición de Flórez, pues distingue claramente entre acciones intencionadas y no-intencionadas; además de indicar con precisión los efectos esperados en la ejecución de las acciones: un artefacto, un dispositivo; un invento o una innovación.

Tras adelantar el análisis conceptual que prometí, y que es necesario al propósito de defender la tesis de que hay diseños paradigmáticos en tecnología, conviene recordar qué es un paradigma según Kuhn. Este término que se popularizó con la publicación de *SScR* (1962) - y que ya había sido empleado no sólo por Wittgenstein, sino también por Platón (Fedro); fue duramente criticado por Margaret Masterman en el célebre Congreso de Filosofía de 1965. Es llamativo porque de todos los ataques que se dirigieron en contra de los planteamientos del autor de *SScR*, algunos tremendamente violentos (ver: Popper (1970), Watkins (1970)); Kuhn recibió bastante bien el reparo de Masterman, tanto así, que decidió sustituir el término en 1969 por la locución “matrices disciplinarias” (Kuhn, 1969).

Ahora, para adelantar dicho análisis conceptual, permítanme nuevamente, suscribir el análisis que Flórez ofrece (2023, *forthcoming*)

(Defi) *X* es un paradigma *sys*s:

- (i) Es un modelo -o patrón- que hace posible la explicación de distintos fenómenos en diferentes dominios de la ciencia y que bien puede contener: leyes, teorías, instrumentos, en conjunción con los compromisos teóricos y conceptuales de una comunidad científica.

Uno de los argumentos históricos que Kuhn ofrece para mostrar que hay genuinos paradigmas en la ciencia proviene del desarrollo mismo de *la mecánica clásica de partículas*<sup>16</sup>. Es posible afirmar que ella satisface la característica (i) porque contiene leyes, teorías, instrumentos, en conjunción con compromisos teóricos y conceptuales. Veamos cómo:

*La mecánica clásica de partículas* abarca las siguientes teorías científicas:

### ***Teorías***

- La teoría de la gravitación universal formulada por Sir Isaac Newton, en sus *Principia*: esta teoría contiene tres leyes: la ley de inercia a través de la cual se sostiene que un cuerpo permanecerá en reposo o en movimiento recto con una velocidad constante, a menos que se aplique una fuerza externa; la ley fundamental de la dinámica que sostiene que las aceleraciones que experimenta un cuerpo son proporcionales a la fuerza que recibe; y la ley de acción y reacción a través de la cual

---

<sup>16</sup> Recordemos que la mecánica clásica comprende un conjunto de leyes físicas que permiten explicar y predecir el comportamiento de cuerpos físicos macrocospicos en reposo o que se mueven a velocidades pequeñas o inferiores a la velocidad de la luz. La mecánica clásica incluye *la mecánica vectorial o mecánica newtoniana*, *la mecánica analítica*, que corresponde a una formulación matemática mucho más sofisticada que la de Newton, desarrollada por Lagrange y Hamilton; *la mecánica de fluidos*, la ley electrostática de Coulomb, y *la mecánica de sólidos deformables* (ley de Hooke); en conjunción con aplicaciones en el dominio de la química como la teoría cinética de los gases (Flórez, 2023, *forthcoming*)

sostiene que la fuerza de acción aplicada genera una reacción igual pero en sentido contrario.

Es bien sabido que una de las hazañas de Newton es que esta teoría es una asombrosa e ingeniosa síntesis de las leyes del movimiento terrestre de Galileo<sup>17</sup> y de las leyes de la dinámica de Kepler.

- Las leyes de la teoría planetaria de Kepler: (i) Los cuerpos celestes tienen movimientos elípticos alrededor del Sol, estando este situado en uno de los 2 focos que contiene la elipse; (ii) La línea que conecta a Sol con un planeta recorre áreas iguales en tiempos iguales; (iii) el cuadrado del período orbital de un planeta es proporcional al cubo (tercera potencia) de la distancia media desde el Sol.
- Si somos estrictos en la reconstrucción de la prueba histórica, la primera ley de la teoría de la gravitación, o ley de inercia ya había sido formulada por Descartes en su texto *Sobre los principios de la filosofía* de la siguiente manera: “cada cosa persevera siempre en el mismo estado en cuanto depende de ella, de modo que lo que se mueve una vez, tiende a moverse siempre” (p.98).
- Teoría cinética de los gases.
- Mecánica de fluidos.
- Mecánica de Sólidos.

### *Leyes*

Además de las leyes de la teoría de la gravitación, *la mecánica clásica de partículas* comprende las siguientes leyes:

- Ley electrostática o ley de Coulomb, la cual sostiene que la constante de proporcionalidad depende de la constante dieléctrica del medio en el que se encuentran las cargas.
- Ley de Hooke, que hace parte de *la mecánica de sólidos deformables* la cual establece que el alargamiento unitario que experimenta un cuerpo elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada sobre el mismo.

---

<sup>17</sup> *la primera ley del movimiento (inicios de la inercia); la ley de la isocronía de los péndulos y la ley del movimiento uniformemente acelerado.*

### ***Instrumentos:***

- La máquina de Atwood.
- El aparato de Cavendish.

Además de los elementos anteriores, los paradigmas se caracterizan por -en esto sigo a Flórez (2021b)-:

- (ii) Indicar los compromisos formales, lógicos o matemáticos de la teoría: como se sabe, la reputación de Newton no sólo se debe al descubrimiento de la ley de la gravitación, sino también a su ingenio como matemático. En el famoso “año milagroso” Newton inventó el cálculo infinitesimal: la herramienta matemática para el desarrollo de su mecánica vectorial; sin embargo, algunos matemáticos que le sucedieron tuvieron que desarrollar otras técnicas más sofisticadas (entre ellas, el cálculo de variaciones de Lagrange)
- (iii) Indica los compromisos ontológicos.
- (iv) Indica los compromisos metodológicos.

De acuerdo con (iii) y (iv) los paradigmas no sólo indican el tipo de reglas que deben seguir los miembros de una comunidad científica, sino que adicionalmente indican un conjunto de compromisos ontológicos importantes. Por ejemplo, *la cantidad de materia* era una categoría ontológica fundamental para los físicos newtonianos, así como las fuerzas que actúan entre trozos de materia. A la luz de los escritos cosmo-físicos de Descartes, la mayoría de los científicos suponían que el universo estaba compuesto de partículas microscópicas y que todos los fenómenos naturales podían explicarse en términos de forma, tamaño, movimiento e interacción corpusculares. Este conjunto de compromisos resultó ser tanto metafísico como metodológico. En tanto que metafísico, indicaba a los científicos qué tipo de entidades contenía y no contenía el universo: materia en movimiento. En tanto que metodológico, les indicaba cómo debían ser las leyes finales y las explicaciones fundamentales: las leyes debían especificar el movimiento y la interacción corpusculares. (Cfr. Kuhn, 1962/1996: 41).

Con base en lo anterior, podemos afirmar que un paradigma es una entidad epistémica compuesta de la siguiente cuadrúpla:

$$P = [C_T, C_F, C_O, C_M]$$

Donde [C<sub>T</sub>] corresponde a los compromisos teóricos y conceptuales derivados de las teorías y leyes que hacen parte del paradigma. [C<sub>F</sub>] abarca los compromisos formales (lógicos y matemáticos). [C<sub>O</sub>] comprende los compromisos ontológicos; y finalmente [C<sub>M</sub>] comprende los compromisos metodológicos.

Como ya disponemos de una definición clara y precisa de lo que es un paradigma, voy a mostrar cómo estos elementos epistémicos se pueden identificar en lo que llamaré *diseños paradigmáticos en tecnología*:

Así como en la ciencia, un paradigma es un modelo o patrón que hace posible la explicación de distintos fenómenos en diferentes dominios de la ciencia, un diseño paradigmático se caracteriza por ser un modelo o patrón de solución tecnológica de una amplia y abigarrada variedad de problemas prácticos (o necesidades humanas). En lo que sigue, argumentaré que *el diseño de la máquina de vapor* satisface las siguientes características:

*X es un diseño paradigmático sys:*

- (i) Es un modelo o patrón de solución tecnológica de una amplia y abigarrada variedad de problemas prácticos (o necesidades humanas):
- (ii) Es raramente un objeto de disputa<sup>18</sup>.
- (iii) En el momento de su aparición es limitado en alcance y precisión<sup>19</sup>.
- (iv) Alcanza dicho estatus porque resuelve mejor que sus rivales ciertos problemas<sup>20</sup>.

---

<sup>18</sup> In a science ... a paradigm is rarely an object for replication. Instead, like an accepted judicial decision in the common law, it is an object for further articulation [...] (Kuhn, 1962/1996: 23).

<sup>19</sup> We must recognize how very limited in both scope and precision a paradigm can be at the time of its first appearance. (Kuhn, 1962/1996: 23)

<sup>20</sup> Paradigms gain their status because they are more successful than their competitors in solving a few problems [...] (Kuhn, 1962/1996: 23)

- (v) Define los problemas a investigar
- (vi) Indican compromisos ontológicos y metodológicos.

A continuación, ofreceré la prueba histórica, con base en la cual mostraré cómo el diseño de la máquina de vapor del ingeniero mecánico James Watt, satisface las condiciones estipuladas de (i) a (vi):

Prueba histórica: *El caso de la máquina de vapor*

Es bien sabido que la máquina de vapor es el motor más emblemático de la primera Revolución Industrial<sup>21</sup> cuyos rasgos y efectos sociales han sido ampliamente documentados por los historiadores. La máquina de vapor es un motor de combustión externa que se caracteriza por transformar la energía térmica del agua en energía mecánica.

Su diseño surgió *prima facie* de los siguientes dos problemas prácticos: (a) al igual que los prototipos que le precedieron: las máquinas atmosféricas<sup>22</sup>, la máquina de vapor se diseñó con el propósito de extraer el agua de las galerías de carbón en Inglaterra; (b) los prototipos hasta entonces diseñados eran tremendamente ineficientes.

Podemos considerar que la máquina de vapor es un diseño paradigmático en razón de que la solución tecnológica que Watt ensayó, a saber: *transformar la energía del vapor del agua en energía mecánica*, se convirtió en un modelo de solución aplicable en diferentes áreas, como la industria textil y de transportes, abarcando desde pequeñas soluciones locales que se tradujeron en el mejoramiento del funcionamiento de máquinas tan sencillas como las máquinas de tejer hasta adaptaciones tan sofisticadas como la del ferrocarril que permitió la movilización de toneladas de mercancía y el transporte de cientos de personas.

A partir de lo anterior, el argumento que aquí ofrezco -y que denominaré *el argumento del principio tecnológico*<sup>23</sup>- se puede reconstruir de manera esquemática así:

---

<sup>21</sup> En teoría ha habido cuatro revoluciones industriales, cada una de las cuales queda vinculada a un invento paradigmático, a saber: el invento decisivo que da lugar a la primera revolución industrial es el diseño de la máquina de vapor. La segunda revolución industrial tuvo lugar gracias a la invención del motor eléctrico. La tercera revolución queda vinculada a la invención del computador y la cuarta relacionada con la era digital, la robótica y la inteligencia artificial.

<sup>22</sup> Las máquinas atmosféricas son aquellas que funcionan transformando la presión atmosférica en fuerza de trabajo.

<sup>23</sup> Un principio tecnológico se puede entender, *prima facie*, como un principio de funcionamiento que indica la función o funciones que desempeña un artefacto. Con ello, el término “función” se refiere al sentido matemático

(P<sub>1</sub>) X es un diseño paradigmático syss su principio tecnológico de funcionamiento se aplica con éxito a diseños posteriores.

(P<sub>2</sub>) El principio de funcionamiento de la máquina de vapor, a saber: *transformar la energía del vapor del agua en energía mecánica*, se aplicó con éxito a la industria textil, al desarrollo ferroviario y de barcos transatlánticos.

[C] Por lo tanto, el diseño de la máquina de vapor es un diseño paradigmático.

De acuerdo con la condición estipulada en (ii), Kuhn sostiene que, en el dominio de la ciencia, los paradigmas son raras veces objetos de disputa, esta característica es compatible con uno de los rasgos más problemáticos<sup>24</sup> de los episodios que el autor de *SScR*, denomina: Ciencia Normal<sup>25</sup>, a saber, que las actividades que ocupan a los científicos durante estos episodios “no está encaminada a provocar nuevos tipos de fenómenos ni se inventan nuevas teorías”<sup>26</sup> Por supuesto, como lectores, no debemos tomar esta última afirmación de manera literal. Por muy desafortunada que parezca, con ello Kuhn no quiere negar que los paradigmas conducen a nuevos descubrimientos (*i.e.*, hay genuinos descubrimientos en los episodios de Ciencia Normal<sup>27</sup>), con ello lo que quiere mantener es que el mecanismo de falsación de teorías

---

de transformación de un número A en otro número B. Al trasladarlo al dominio de la tecnología, alude a la transformación de un estado de cosas A (energía térmica), a un estado de cosas B (movimiento mecánico).

<sup>24</sup> Se trata de un rasgo controversial porque va a motivar la acusación de sus críticos de que los paradigmas son una suerte de prisiones mentales de la que los científicos no pueden escapar de manera racional (Ver: Flórez, 2023)

<sup>25</sup> *La Ciencia Normal* es, según Kuhn, un episodio que se caracteriza porque los científicos dedican la mayor parte de su tiempo a la resolución de problemas a partir de un paradigma (ver *Defi*). Adicionalmente Kuhn indica que la Ciencia Normal es: **a.** la realización de una promesa de éxito (que es el paradigma), **b.** la investigación encaminada a las operaciones de retoque (*e.g.*, ampliar el aumento y la precisión del paradigma), **c.** la investigación dirigida a hacer encajar los fenómenos dentro de los compromisos teóricos; **d.** no está encaminada a provocar nuevos tipos de fenómenos; **e.** durante estos episodios no se inventan nuevas teorías, **f.** la Ciencia Normal progresa porque quienes la practican se concentran en problemas que sólo su falta de ingenio les impide resolverlos, **g.** es una actividad de resolución de rompecabezas, **h.** “un fallo en la investigación normal, no es un fallo en el modo cómo es la naturaleza sino cómo es el científico” (Cf. Kuhn: 1996: 10-22).

<sup>26</sup> “No part of the aim of normal science is to call forth new sorts of phenomena; indeed those that will not fit the box are often no seen at all. Nor do scientists normally aim to invent new theories, and they are often intolerant of those invented by others” (Kuhn, 1962/1996: 24).

<sup>27</sup> Como lo ilustra no sólo el descubrimiento por Coulomb de la ley de la electrostática en la mecánica clásica de partículas, sino también el descubrimiento de la ley de Boyle.

propuesto por Popper (1959/2005)<sup>28</sup> no opera -o no es funcional- en los episodios de Ciencia Normal.

Ahora, en el dominio de la tecnología los diseños paradigmáticos también son raramente objetos de renovación, en el sentido de que no se propone un principio tecnológico (o de funcionamiento) de un artefacto hasta que no se haya ensayado el alcance de dicho principio hasta sus límites. Así como los científicos normales dedican la mayor parte de su tiempo a la articulación de la teoría y a buscar la manera de hacer encajar todos los fenómenos al paradigma vigente, los ingenieros -y demás tecnólogos- se dedican a la introducción de mejoras incrementales que tienen como objetivo maximizar la eficiencia de los artefactos. Esto generalmente se logra con la introducción de innovaciones tecnológicas de proceso a través de las cuales se mejora el funcionamiento de un artefacto, sin pensar en abandonarlo como modelo. La máquina de vapor tuvo vigencia como paradigma tecnológico por más de un siglo, hasta que fue reemplazada por el motor eléctrico (o motor de combustión interna) en el siglo XIX el cual continúa vigente.

Cuando el principio tecnológico -o de funcionamiento- es reemplazado por otro, tiene lugar una revolución tecnológica<sup>29</sup>.

En lo que atañe a la condición estipulada en (iii), de acuerdo con la cual, en el momento de su aparición un paradigma en la ciencia es limitado en alcance y precisión, se trata de un patrón histórico que también es fácilmente apreciable en el desarrollo tecnológico. El aumento de la eficiencia del diseño presentado por Watt en 1769, en comparación con los prototipos subsiguientes que se desarrollaron durante el siglo XIX es altísimo ya que el diseño inicial, aunque más eficiente que sus rivales, no era perfecto. De hecho, recordemos

---

<sup>28</sup> La falsación es, de acuerdo con Popper, el acto epistemológico con base en el cual consideramos falsado un sistema de enunciados. Según el autor de *The Logic of Scientific Discovery*, las condiciones bajo las cuales consideramos falsado un sistema de enunciados son las siguientes: (i) (condición necesaria) si hemos aceptado enunciados que la contradigan (ii) si descubrimos *un efecto reproducible* que la refute. (iii) aceptamos la falsación si y solamente si se corrobora una hipótesis empírica de bajo nivel que describa semejante efecto. (De hecho, no necesita ser un enunciado estrictamente universal). Cfr. Popper, 2005:66.

<sup>29</sup> Podemos entender las revoluciones tecnológicas, de manera análoga a como Kuhn define a las Revoluciones científicas, a saber: como la sustitución de un paradigma por otro. En lo que concierne al progreso en tecnología: una revolución científica consiste en la sustitución de un diseño paradigmático por otro, (*e.g.*, la sustitución del motor de combustión externa por el motor de combustión interna)

que la eficiencia termodinámica completa es imposible. Con base en lo anterior, debemos afirmar que todos los diseños paradigmáticos son -en sus inicios- limitados si lo comparamos con sus versiones finales. Dicho en otras palabras, la eficiencia va en aumento gradual<sup>30</sup>.

Para mostrar que ello es así, es clave tener presente que en 1765 llega al taller del mecánico James Watt<sup>31</sup> una máquina de Newcomen para ser reparada. Al estudiar su funcionamiento Watt advierte que una de las causas por las cuales la máquina de Newcomen es ineficiente, consiste en que ésta tenía que enfriar el cilindro para condensar el vapor. Así que propuso mantener el cilindro caliente para mejorar de manera significativa su rendimiento. Esta idea se materializó en 1769 cuando Watt registra la patente de “un nuevo método para reducir el consumo de vapor y combustible en las máquinas de fuego” (Tredgold. 1831: 32). Este nuevo artefacto logró que el vapor se condensara en un recipiente especial, llamado condensador, el cual se conectaba con un tubo al cilindro que se cerraba por sus dos extremos y siempre mantenía el vapor caliente, lo cual ahorraba una gran cantidad de combustible.

Para mejorar el rendimiento de su máquina Watt introdujo las siguientes novedades en su diseño: (i) su máquina es una máquina de doble efecto en la cual se emplea el vapor alternativamente al obrar a cada lado del émbolo, mientras se hace vacío en el otro lado; (ii) es una máquina compuesta por medio de la cual se une los cilindros y condensadores de dos o más máquinas distintas, de tal manera que el vapor con el que se mueve el émbolo de la

---

<sup>30</sup> El término “eficiencia” se puede entender, *prima facie*, en dos sentidos -que no son *stricto sensu*, distintos entre sí-. El sentido termodinámico, de acuerdo con el cual un artefacto es eficiente si no derrocha energía; y el sentido que ofrece Quintanilla, que se puede resumir a partir de la siguiente fórmula:

$$\blacksquare E(A, O, R) = \frac{O \cap R}{O \cup R}$$

Donde E= eficiencia; A= agentes intencionales; O= objetivos trazados -y perseguidos- por los diseñadores; y R= resultados obtenidos. Con base en esta fórmula, Quintanilla sostiene que un diseño tecnológico es más eficiente que otro si hay mayor compatibilidad entre los objetivos trazados y los resultados obtenidos. De lo que se colige que, en términos matemáticos el grado de eficiencia va de 0 a 0,9. Nunca es =1, en razón de las restricciones que impone la eficiencia termodinámica. (Cfr. Quintanilla, 2017:119). Aquí voy a suscribir dicha definición, ya que es la más articulada que he encontrado, hasta ahora en la literatura filosófica.

<sup>31</sup> Maestro del Colegio de Glasgow dedicado a la fabricación de instrumentos matemáticos. Nació en Gran Bretaña y después de Papin es quien se dedica al estudio de los usos y aprovechamientos del vapor, que hasta el momento eran poco conocidos. Podemos considerarlo el precursor de la revolución industrial ya que sus inventos se propagaron rápidamente por aquellas ciudades que más tarde serían epicentro de dicha revolución, como Londres, Birmingham y Manchester. Cuando sus inventos llegaron a Francia fueron utilizados para el abastecimiento del agua y el bombeo del Sena.

primera actúa sobre el émbolo de la segunda y así sucesivamente; (iii) utiliza una barra dentada en lugar de cadenas en los extremos de los émbolos de la bomba y la balanza. (iv) su máquina es de movimiento circular alternativo y no rectilíneo como la máquina de Newcomen. (v) introdujo el manómetro para la caldera, el condensador, y el indicador para determinar el estado del vapor en la caldera<sup>32</sup>. Es importante resaltar que antes de Watt la condensación se realizaba en el mismo vaso y no en uno separado, y la inyección de agua fría se realizaba a cada golpe en el cilindro mismo, lo cual obligaba a calentar y enfriar el cilindro generando un gran gasto de vapor y agua fría. Todas estas novedades abren el camino para el concepto de eficiencia termodinámica, que posteriormente fue desarrollado por la ciencia termodinámica, gracias a la cual se evita el derroche de energía en la producción de trabajo, logrando una nula disipación de energía en forma de calor.

De acuerdo con la (iv) condición, un paradigma en la ciencia, alcanza dicho estatus porque resuelve mejor que sus rivales ciertos problemas, *i.e.*, lo que hace que X adquiera el estatus de paradigma es que es superior a sus rivales: “*Paradigms gain their status because they are more successful than their competitors in solving a few problems*” (Kuhn, 1996: 23). Con ello claramente, Kuhn sugiere que uno de los criterios pragmáticos que explica por qué X es un paradigma y Z no, estriba en que X resuelve o explica mejor determinados problemas que Z. Si examinamos este patrón histórico en el desarrollo mismo de la máquina de vapor, el análisis historiográfico revela que la primera máquina de Watt era más eficiente que cualquier máquina atmosférica. De hecho, Watt dedica parte de su investigación a determinar la eficiencia de su máquina con base en la unidad de *caballos de potencia* comparando la eficiencia desarrollada por su máquina con el trabajo que podía ser realizado por un caballo, lo que también le permitió comparar su eficiencia con la obtenida por otras máquinas, frente a las que, sin lugar a duda, salió vencedora.

La condición (v) estipula que para que X sea un diseño paradigmático debe definir -o sugerir- a los diseñadores los problemas a investigar, entre ellos, no sólo el del mejoramiento de su eficiencia, sino de la ampliación de su campo de aplicación, como lo ilustra estupendamente la extensión del principio de transformación de energía térmica en movimiento mecánico al

---

<sup>32</sup> Aunque el manómetro ya había sido inventado para realizar experimentos con bombas de aire en el estudio de la presión atmosférica y la elasticidad del aire, nunca había sido utilizado para perfeccionar el funcionamiento de la máquina de vapor.

desarrollo textil y del transporte marítimo y ferroviario. Si bien la máquina de vapor alcanza niveles de producción por medio del trabajo mecánico nunca imaginados, existía la necesidad y la posibilidad de seguir investigando para mejorar su eficiencia, dando lugar al surgimiento de nuevos problemas que tenían una solución garantizada dentro del paradigma por medio de la introducción de innovaciones tecnológicas.

Su eficiencia fue tan contundente que aumentó el rango de los problemas abordados permitiendo nuevas preocupaciones a los técnicos e ingenieros quienes ampliaron su visión hacia un mundo más complejo, al que buscaban aportar nuevas soluciones. Así, el problema central de la tecnología ya no solo era aumentar la fuerza de trabajo, sino que se buscaba mejorar los sistemas de producción y acortar las distancias del mundo.

Quienes trabajaban en el desarrollo de la máquina de vapor estaban convencidos de que dicho artefacto era la solución más precisa para aumentar la capacidad de trabajo, a la vez que se centraban en resolver la siguiente pregunta: ¿cómo convertir la máquina de vapor en un sistema más eficiente? Para responder a ello se debían ocupar de varios aspectos, por ejemplo: ¿cómo mejorar la relación costo-beneficio? ¿Qué materiales se podían utilizar siendo menos pesados? ¿Cómo convertir el movimiento rectilíneo en circular? ¿Cómo automatizar la máquina? Para responder a estas y otras preguntas Watt continuó con el desarrollo y perfeccionamiento de su máquina, lo que dio como resultado la máquina de vapor de doble efecto la cual presentaba un nuevo mecanismo para regular la distribución del vapor. Posteriormente, Watt introdujo una varilla que une el émbolo con un balancín articulado, convirtiendo el movimiento rectilíneo en circular. Todas estas modificaciones hicieron posible que la máquina tuviese mayores niveles de funcionalidad y confiabilidad que la hicieron servir de base motriz para máquinas textiles y otros dispositivos más avanzados. Hacia 1800 la máquina estacionaria a vapor ya era un producto comercial presente en toda Europa y en 1807 y 1814 se presentan los primeros barcos y locomotoras propulsados por máquinas a vapor móviles lo que dio lugar a los mayores emprendimientos comerciales del siglo XIX.

Finalmente, en lo que concierne a la condición estipulada en (vi) según la cual un paradigma indica los compromisos ontológicos y metodológicos que suscriben los miembros de la comunidad científica, se podría pensar que no tiene mucho sentido buscar dicho patrón en el

desarrollo tecnológico, dado que la creación de artefactos no exige del ingeniero -o inventor- un compromiso con *lo que hay o existe en el universo*. Sin embargo, los ingenieros e inventores sí que mantienen compromisos ontológicos y metodológicos, así como lo hacen los científicos en el dominio de las ciencias naturales. Así como quienes mantuvieron el paradigma mecanicista (de los siglos XVII al XIX), suscribieron el compromiso ontológico de que *había fuerzas*; Watt sostuvo -junto con su maestro Black- no sólo que había *calor latente*, sino que adicionalmente mantuvo que éste era una sustancia química. A este respecto, Flórez afirma:

¿Cuáles fueron los recursos teóricos que sirvieron de base para el diseño e invención de la máquina de vapor? Watt estaba firmemente comprometido con la teoría material del calor. Aunque ésta es una teoría aún más arcaica –o primitiva– que la misma teoría del calórico, la teoría material del calor planteaba que el calor era una sustancia química (Miller 2009, p. 44). Dicha teoría también postulaba la existencia del calor latente. La terminología asociada a este concepto fue introducida por Black para explicar los cambios de estado (*e.g.*, líquido a gaseoso).

Sin embargo, tal y como lo plantea Miller en su estupendo libro *James Watt, Chemist*, Watt exploró los alcances de esta idea mucho más allá de lo que lo hiciera el propio Black (cf. Miller 2009, p. 45). Tanto así que consiguió formular la bien conocida Ley de Watt la cual estipula que la suma del calor latente y sensible es una constante. (Flórez, D. 2020:136)

Quienes exploran los alcances de un diseño paradigmático aceptan el conjunto de creencias que explican su funcionamiento. Por ejemplo, quienes se comprometieron con el uso, el diseño y el perfeccionamiento de la máquina de vapor estaban convencidos de que el calor era una sustancia química -material- gracias a la cual se podía producir movimiento y lograr el cambio de estado en una sustancia, de la misma manera que el agua pasa de estado líquido a gaseoso. Los principales compromisos sostenidos por Watt fueron: (i) el vapor es la fuerza que potencia la máquina. (ii) mientras la máquina esté en funcionamiento el cilindro debe estar tan caliente como el vapor que entra en él. (iii) es necesario evitar que cualquier sustancia que esté a una temperatura más baja que el vapor se ponga en contacto con ella. (iv) las máquinas deben ser accionadas por la condensación del vapor y este proceso se debe realizar en un recipiente separado del vapor, el cual debe estar tan frío al menos como el aire que se encuentra alrededor de las máquinas. (v) cualquier cantidad de aire o vapor que haya sido condensada por el frío y que pueda impedir el buen funcionamiento de la máquina debe

ser expulsada de los recipientes de vapor por medio de las bombas accionadas por las máquinas mismas. (vi) la fuerza expansiva del vapor puede empujar los pistones por su parte superior, del mismo modo que la presión de la atmósfera funciona en las “máquinas de fuego”. En los lugares donde no haya agua fría en abundancia, las máquinas pueden ser accionadas solo por la fuerza del vapor, descargándolo, una vez haya cumplido su función. (Cf. Baracca, 2002:308). Recordemos que para esa época aún no habían sido formulados los principios de la termodinámica, sin embargo, podemos afirmar que de manera intuitiva quienes estaban relacionados con este diseño aceptaban el concepto de *eficiencia termodinámica* que posteriormente será desarrollado por Sadi Carnot.<sup>33</sup>

Una vez establecidos los compromisos sostenidos por Watt en el diseño y perfeccionamiento de su máquina de vapor podemos afirmar, que de la misma manera en que los paradigmas son una *conditio sine qua non* para el desarrollo de la ciencia normal, los diseños paradigmáticos son una *conditio sine qua non* para el desarrollo de la tecnología normal, pues “los grandes inventos tecnológicos inauguran un nuevo paradigma tecnológico” (Quintanilla, 2017:114).

Sostener que hay diseños paradigmáticos en el dominio de la tecnología implica un compromiso con algunas de las tesis mantenidas por Kuhn en la defensa de su modelo de la ciencia. En lo que sigue propondré un modelo de progreso tecnológico a partir del cual explicaré los mecanismos que impulsan dicho progreso. Para ello, presentaré las condiciones necesarias y suficientes que según el modelo kuhniano de la ciencia explican el progreso científico.

---

<sup>33</sup> La eficiencia termodinámica es el coeficiente obtenido a partir del cociente del trabajo neto de salida y el calor neto suministrado (Cengel & Boles, 2009). Ese coeficiente muestra la máxima eficiencia termodinámica dada por una máquina.

## II CAPÍTULO: Condiciones necesarias y suficientes del progreso científico.

### *El modelo kuhniano de la ciencia*

En este capítulo examinaré las condiciones necesarias y suficientes para el progreso científico que plantea el filósofo norteamericano Thomas Kuhn en su célebre *SSc R*. Para adelantar este análisis, presentaré cada una de las fases que integran su modelo cíclico del desarrollo de la ciencia. Para ello analizaré la naturaleza de los episodios *pre-paradigmáticos de la ciencia* cuya característica principal estriba en que la investigación se adelanta en ausencia de paradigmas<sup>34</sup>. Luego, examinaré los patrones históricos universales que exhibe la *Ciencia normal*. Entre ellos, me detendré especialmente en la naturaleza de los paradigmas ya que éstos son una *conditio sine qua non* para el progreso científico. Tras hacer lo anterior, analizaré la naturaleza de las anomalías en la ciencia y su rol en los descubrimientos científicos ya que estos pueden conducir a un periodo de crisis, las cuales dan lugar a las revoluciones científicas. Finalmente argumentaré que la tesis de la inconmensurabilidad, como una de las consecuencias más salientes de las revoluciones científicas, es compatible con la idea de que hay progreso en la ciencia.

Un análisis medianamente exhaustivo de las fases que componen el modelo kuhniano me permitirá mostrar por qué las categorías a las que Kuhn recurre para explicar el desarrollo de la ciencia son epistemológicamente útiles para el análisis que adelantaré -en el tercer capítulo- sobre el progreso tecnológico.

#### ***1ª Condición necesaria para el progreso científico: la ciencia pre-paradigmática***

La primera fase que Kuhn identifica en el desarrollo de la ciencia corresponde a lo que podríamos denominar los *episodios pre-paradigmáticos de la ciencia*. Esta es una etapa que se caracteriza por presentar *prima facie* dos patrones históricos. El primero de ellos consiste en que durante estos episodios no hay un paradigma con base en el cual se estudie de manera generalizada un mismo problema o fenómeno, *i.e.*, no existe un conjunto común de creencias

---

<sup>34</sup> Esta es una de las tesis que Kuhn modifica sustancialmente en su *Postscriptum* de 1996. Al respecto Kuhn sostiene: “lo que cambia con la transición a la madurez no es la presencia de un paradigma, sino más bien su naturaleza” (Kuhn, 1996: 352). Según Kuhn en la ciencia pre-paradigmática efectivamente podemos identificar algunos paradigmas y lo que cambia en el tránsito hacia la ciencia normal es que estos se enfocan en la solución de problemas bajo un conjunto común de creencias por parte de la comunidad científica específica.

que permita a los científicos una selección definida de problemas y de los experimentos que conviene realizar, por lo que sólo se abordan aspectos muy específicos de la realidad, dejando de lado el estudio de otros fenómenos que pueden resultar decisivos para la ciencia. El segundo rasgo consiste en la coexistencia de numerosas escuelas en competencia cada una de las cuales aborda los problemas desde diferentes perspectivas con el propósito de hallar la solución más promisoría. Esta, es quizás, la razón por la cual podemos encontrar diferentes descripciones de un mismo fenómeno. Para defender que, en efecto, existen estos episodios, Kuhn ofrece dos argumentos históricos. El primero de ellos proviene del estudio de la óptica antes de Newton, y el segundo de los estudios que llevaron a cabo los electrofísicos -sobre la electricidad- antes de Franklin. Dicho en otras palabras, el primer paradigma en el dominio de la óptica es la teoría corpuscular newtoniana y el primer paradigma en la electrofísica es la teoría del fluido único de Franklin.

El argumento central para defender la existencia de estos episodios se puede formular de la siguiente manera:

(P<sub>1</sub>) Si hay un episodio del desarrollo de la ciencia en el que (i) hay numerosas escuelas en competencia y (ii) no hay un conjunto de creencias en común, ni un conjunto de reglas para la elección de los problemas y experimentos que se consideran relevantes, entonces hay episodios pre-paradigmáticos en la ciencia.

(P<sub>2</sub>) Puesto que en los estudios de *La Óptica* antes de Newton podemos identificar los patrones (i) y (ii), entonces el periodo de desarrollo de *La Óptica* antes de Newton corresponde a un estadio pre-paradigmático de la ciencia.

(P<sub>3</sub>) Puesto que en los estudios de la electricidad antes de Franklin podemos identificar los patrones (i) y (ii), entonces, el estudio de la electricidad antes de Franklin corresponde a un estadio pre-paradigmático de la ciencia.

Para mostrar que los patrones históricos (i) y (ii) corresponden a las características distintivas de la fase pre-paradigmática de la ciencia, consideremos con más detalle las dos pruebas históricas que Kuhn ofrece.

### **Primer argumento histórico:** *La Óptica antes de Newton*

Aunque la naturaleza misma de la luz había inquietado a los filósofos naturales desde la antigüedad clásica, los estudios físicos más articulados sobre los fenómenos ópticos tuvieron que esperar hasta el siglo XVIII cuando Sir Isaac Newton adelanta *inter alia* su célebre experimento de la descomposición de la luz del sol<sup>35</sup>.

De acuerdo con Kuhn, la historia de la óptica revela que antes de que Newton publicara su *Opticks, or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light* (1704) coexistían numerosas escuelas en competencia, cada una de las cuales luchaba porque sus hipótesis explicativas acerca de la naturaleza de la luz se convirtieran en un *corpus* teórico.

Entre las escuelas más destacadas encontramos la platónica, la aristotélica y la epicureísta. De acuerdo con los planteamientos realizados por Platón en el libro sexto de la *República* (508: c-e) la luz era el resultado de una interacción entre el medio y una emanación del ojo, pues los ojos emitían pequeñas partículas que al llegar a los objetos los hacían visibles. Esta teoría se conoce como la “teoría granular de la luz”, sin embargo, quienes defendían esta hipótesis enfrentaron importantes objeciones, como la incompatibilidad con el hecho de que no es posible ver objetos en la oscuridad, pues si nuestros ojos emitiesen algún tipo de sustancia que hiciese visibles los objetos al entrar en contacto con ellos, entonces se debería ver en la oscuridad de la misma manera que podemos hacerlo en un espacio iluminado.

Por su parte Aristóteles en el *Libro II De Anima*, planteaba que la luz era una modificación del medio interpuesto entre el cuerpo y el ojo, es decir, la luz era considerada como un fluido inmaterial que se propagaba entre el ojo y el objeto observado. Esta teoría se conoce como la teoría dinámica de la luz y le asignaba al ojo la capacidad de potencializar los objetos para ser percibidos de una manera determinada. Finalmente, la escuela epicureísta formuló la teoría de la intromisión con base en la cual se consideraba que la luz estaba compuesta por

---

<sup>35</sup> En 1667 Newton presentó ante la *Royal Society* su experimento sobre la descomposición de la luz solar en el cuál mostro a través de un prisma (considerado un juguete infantil) que la luz se podía descomponer. Esto lo logró disponiendo de un lugar oscuro en el cual solo entraba un rayo de luz solar por un pequeño orificio en la ventana. Colocó un prisma delante del rayo de luz, de tal modo que esta lo atravesaba y se reflejaba en la pared opuesta, a siete metros de distancia. El resultado fue que en la pared se reflejaban los colores del arcoíris, de forma alargada, uno sobre otro. Continuó su experimento hasta que hizo aparecer los colores, uno por uno, de lo que dedujo que la luz blanca era la combinación de todos los colores.

partículas que emanaban de los cuerpos materiales, de tal suerte que los objetos emitían rayos que viajaban hasta los ojos permitiendo la visión. (Cf. Kuhn, 1996:14).

Con base en la descripción de algunas de las escuelas que proliferaban; y que adelantaron estudios sistemáticos sobre la naturaleza de la luz antes de Newton, podemos decir que no había un punto de vista generalmente aceptado, y esto se extendió hasta finales del siglo XVII cuando se establece el primer paradigma a partir de los estudios de Newton. El físico inglés sostuvo que la luz estaba compuesta por corpúsculos materiales. De hecho, la teoría newtoniana cobra tanta fuerza entre los estudiosos de la época, que poco a poco disminuyen sus detractores: el prestigio de Newton en la mecánica facilitó que los físicos acogieran sus hipótesis y experimentos en otros dominios de la física, como la óptica. De hecho, Newton tuvo el mérito de plantear el problema de una manera diferente afirmando que a cada grado de refrangibilidad le correspondía un rayo de color diferente, de tal suerte que un rayo de color puro conservaba su coloración después de atravesar el prisma. Todo ocurre como si los colores no fueran adquiridos en el curso del fenómeno, sino que parecen preexistir en el haz de la luz blanca y el prisma no hace más que manifestarlos.

A partir de la explicación anterior, los colores empezaron a ser considerados como cualidades de la luz, por lo que Newton concluyó que ésta debía ser una sustancia y no una cualidad. De hecho, Newton es reconocido por realizar la más grande investigación científica documentada del siglo XVII, ya que sus numerosos experimentos superaron en evidencia empírica a las teorías rivales que, en gran medida, se habían quedado en el plano de lo teórico. A pesar de que algunos de sus predecesores habían asumido que los colores eran el resultado de algún tipo de modificación de la luz blanca pura, no disponían de evidencia a favor de ello. Harriman (2010) reflexiona sobre este fenómeno de la siguiente manera:

“Descartes había afirmado que la luz era un movimiento de ciertas partículas diminutas, y que la rotación de las partículas era la causa de los colores: las partículas de luz que rotan más deprisa supuestamente se ven rojas, mientras que las que rotan más despacio se ven azules. El eminente científico inglés Robert Hooke propuso una teoría distinta. Supuso que la luz blanca era un pulso de onda simétrico, y dijo que los colores son el resultado de una distorsión en el pulso. Según su teoría, la luz es roja cuando la parte delantera del pulso de la onda es mayor en amplitud que la parte trasera, y que es azul cuando ocurre lo contrario. Asumió que todos los demás colores eran una mezcla de rojo

y azul. Newton veía estas “teorías” por lo que realmente eran: ficciones basadas solamente en la fértil imaginación de sus creadores. Rechazó ese método especulativo y refutó sus premisas básicas. Demostró que los colores no son el resultado de ninguna modificación de la luz blanca, sino que son sus componentes básicos” (Harriman, 2010: 112).

El lector seguramente advirtió en el pasaje anterior que antes de que la teoría corpuscular de Newton adquiriese el estatus de paradigma, no sólo coexistían las tres escuelas a las que Kuhn se refiere en su argumento histórico (*i.e.*, la escuela platónica, la aristotélica y la epicureísta), sino otras formuladas por otros tres científicos modernos de renombre: Descartes, Huygens y Hooke, quienes ofrecieron sus propias explicaciones sobre la naturaleza de los colores. Sin embargo, todas estas explicaciones dispersas no alcanzaron la madurez científica, que logró la teoría corpuscular de Newton. Una de las razones de ello estriba en que lo que hace que X adquiera el estatus de paradigma es que es superior a sus rivales: “*Paradigms gain their status because they are more successful than their competitors in solving a few problems*” (Kuhn, 1996: 23). Con ello Kuhn sugiere que uno de los criterios pragmáticos que explica por qué X es un paradigma y Z no, estriba en que X resuelve o explica mejor determinados problemas que Z, *i.e.*, tiene más poder explicativo que sus rivales<sup>36</sup>.

Consideremos ahora el segundo argumento histórico que Kuhn ofrece en apoyo de la tesis de que hay episodios pre-paradigmáticos en el desarrollo de la ciencia.

**Segundo argumento histórico:** *la investigación eléctrica antes de Franklin.*

El segundo argumento que Kuhn propone a favor de la existencia de episodios pre-paradigmáticos está basado en la historia de la investigación eléctrica. Los fenómenos eléctricos despertaron la curiosidad entre los filósofos naturales desde la antigüedad, pues encontramos registros que indican que desde el año 600 a.C., aproximadamente, Tales de Mileto se dedicó a comprobar las propiedades eléctricas del ámbar, que al ser frotado con

---

<sup>36</sup> Kuhn presenta su teoría de los juicios de valor en la ciencia de manera articulada en (1998). Allí el lector podrá encontrar una propuesta que, a mi juicio, va dirigida en clara línea pragmática, ya que los criterios que allí establece para explicar la elección racional entre paradigmas involucra, no criterios algorítmicos de decisión racional, sino criterios epistémicos, tales como, el alcance, la precisión, el poder explicativo, etc. Cfr. Kuhn. (1998)

una pieza de lana era capaz de atraer a pequeños objetos. Muchos años después el inglés William Gilbert retomó los estudios realizados por los griegos y empleó por primera vez el término “electricidad” para describir sus investigaciones sobre la electricidad y el magnetismo. Sin embargo, los desarrollos más importantes solo se dan hasta el siglo XVIII cuando Watson y Franklin lideran diferentes investigaciones que se derivaban de alguna manera de la filosofía mecánico-corpúscular, la cual era puesta a prueba en la práctica científica.

A partir de este caso histórico Kuhn identifica la existencia de tres escuelas en competencia. La primera de ellas consideraba que la atracción y la generación por fricción eran los fenómenos eléctricos fundamentales, por lo que la repulsión era vista como un fenómeno secundario que se daba por algún tipo de rebote mecánico. La segunda consideraba que la atracción y la repulsión eran las manifestaciones elementales de la electricidad, por lo que se enfrentaron a problemas para explicar simultáneamente todo lo que no fuera efectos de la conducción más simple. La tercera escuela concibió a la electricidad como un fluido que probablemente estaba relacionado con el fuego o la luz, por lo que físicos como Du Fay y Nollet prestaron especial atención a la conducción y diseñaron instrumentos que permitían embotellar la electricidad, *e.g.* la botella de Leyden<sup>37</sup> para mover otros objetos. Este instrumento se convirtió en un desafío intelectual para Franklin quien no solo afirmó que la electricidad era un fluido invisible, sino que describió la conducción eléctrica hablando de las cargas positivas y negativas que se encontraban en los cuerpos. Sus estudios y experimentos lograron atraer a los más grandes pensadores de la época consolidando una línea de investigación que se convirtió en la guía de investigación eléctrica en los años subsiguientes (Cf. Kuhn, 1996:16).

Tal y como lo muestran los argumentos históricos anteriores, la investigación en la ciencia pre-paradigmática se caracteriza porque cada grupo de científicos que estudia determinado fenómeno tiene la necesidad de partir de cero, explorando nuevas líneas de investigación, incluso dejando de lado fenómenos que resultan relevantes dentro del dominio del área para

---

<sup>37</sup> Este fue un artefacto en el cual se podían almacenar cargas eléctricas. Fue creado el 11 de octubre de 1745 en la Universidad de Leyden, por el físico holandés Pieter van Musschenbroek; y consistía en una botella de vidrio parcialmente llena de agua con un gancho metálico que colgaba a través de un corcho, comportándose como un condensador o capacitor eléctrico.

redefinir los conceptos y delimitar su campo de estudio, es por esto que en las primeras etapas del desarrollo de cualquier ciencia es posible encontrar la descripción del mismo fenómeno de maneras diferentes gracias a la coexistencia de escuelas en competencia.

Los estudios realizados durante este periodo eran sometidos a frecuentes y profundos debates acerca de los métodos, problemas y normas de solución legítimas dentro de un área específica de la ciencia y servían más para definir escuelas que para producir acuerdos. Además, los científicos no se dedican a la solución de problemas, sino a la delimitación de su objeto de estudio y a conocer su naturaleza, pues en el momento en el que la comunidad científica logra un consenso general, dichos debates desaparecen -en gran medida- con lo que surge una nueva fase del desarrollo de la ciencia, a saber: *la Ciencia Normal* que es un período que se caracteriza porque la investigación se hace a partir de un paradigma o un *corpus* de creencias a partir del cual se aborda el estudio de determinado fenómeno<sup>38</sup>. A continuación, me concentraré en el análisis de esta fase que resulta decisiva en la explicación kuhniana del desarrollo de la ciencia.

## ***2ª Condición necesaria para el progreso científico: La Ciencia Normal***

Con el surgimiento de un paradigma en la ciencia, inicia una fase de desarrollo en la que se reconocen algunos logros pasados como fundamento de toda la práctica científica<sup>39</sup>, por lo que se busca que todos los fenómenos encajen dentro de los nuevos compromisos teóricos. Esta fase que Kuhn denomina *Ciencia Normal* se caracteriza porque los científicos dedican la mayor parte de su tiempo a la solución de los problemas propuestos a la luz del paradigma vigente con el objetivo de articular la teoría y ampliar el conocimiento de la realidad, convencidos de que hay una solución garantizada. En lo que sigue analizaré cada una de las características que Kuhn le atribuye a la ciencia normal.

---

<sup>38</sup> Esto no implica que las diferencias entre escuelas desaparezcan, pues los científicos pueden mantener algunas divergencias respecto a algunos problemas, aquí lo más importante es que se logra cierta unanimidad en el estudio de determinado fenómeno.

<sup>39</sup> [...] I shall henceforth refer to as 'paradigms' a term that relates closely to 'normal science'. By choosing it, I mean to suggest that some accepted examples of actual scientific practice -examples which include law, theory, application, and instrumentation together- provide models from which spring particular coherent traditions of scientific research. (Kuhn, 1962/1996:10).

En primer lugar, para que haya ciencia normal debe haber, por lo menos, un paradigma<sup>40</sup>. Para Kuhn un paradigma es el componente básico necesario para el progreso científico y puede ser entendido como un modelo o patrón aceptado que define los problemas a investigar y que comprende un conjunto de teorías, leyes, instrumentos<sup>41</sup> -entre otros-, que se seleccionaron por ser la mejor opción frente a las otras teorías rivales existentes, es decir, un paradigma es una promesa de éxito para la solución de varios problemas, aunque en realidad no lo sea –dado que es limitado en su alcance y precisión<sup>42</sup>-. Un paradigma incluye conjuntamente leyes, teorías, aplicaciones e instrumentos, los cuales tienen implícitos compromisos teóricos y metodológicos de distinta naturaleza.

Quintanilla ofrece una definición del término “paradigma” que puede ser funcional a los propósitos de este trabajo; en su opinión “un paradigma es una entidad híbrida, que incluye teorías científicas, reglas metodológicas, tradiciones académicas, pautas de comportamiento social de los científicos, etc.” (2017:171). Así mismo, los paradigmas pueden ser entendidos como:

1. Ejemplos o modelos de investigación científica, es decir, un paradigma indica un conjunto de problemas a investigar dentro de los cuales debe formarse cualquier persona que quiera ingresar a una comunidad científica, por lo que dichos paradigmas son el modelo a seguir y rara vez se encuentran personas que se alejen de ellos.
2. La comunidad científica que acepta un paradigma comparte las mismas reglas metodológicas que orientan su práctica, pues han suscrito un modelo de investigación desde el cual se proponen abordar las posibles situaciones para la explicación de un fenómeno, lo que implica un uso común del léxico e incluso de las categorías ontológicas aceptadas.

---

<sup>40</sup> Este término es quizás uno de los más problemáticos dentro de la teoría kuhniana de la ciencia, pues como es bien sabido en 1996 Kuhn propone reemplazar el término “paradigma” por el de “matriz disciplinar”, sin embargo, para los fines de este trabajo me acogeré a una definición funcional del término “paradigma”, pues al igual que Flórez (2011) considero que estos términos son co-extensivos y no difieren en su significado, pues cada uno de los componentes que Kuhn asigna a la matriz disciplinar ya habían sido identificados como elementos constitutivos de los paradigmas en 1996.

<sup>41</sup> In its established usage, a paradigm is an accepted model or pattern [...] in grammar, for example, ‘amo, amas, amat’ is a paradigm it displays the pattern to be used in conjugating a large number of other Latin verbs, e.g., in producing ‘laudo, laudas, laudat’. (Kuhn, 1962/1996:23).

<sup>42</sup> We must recognize how very limited in both scope and precision a paradigm can be at the time of its first appearance. (Kuhn, 1962/1996: 23)

3. También es importante señalar que los paradigmas no se prolongan indefinidamente en el tiempo ya que están sometidos a cambios que son propios del desarrollo de la ciencia. De hecho, estos cambios resultan en lo que Kuhn denomina *revoluciones científicas*.

Una vez se ha indicado qué se debe entender por el término *paradigma*, como elemento central del desarrollo de la ciencia normal, es importante considerar la segunda característica que Kuhn atribuye a estos episodios, a saber, los científicos dedican la mayor parte de la actividad científica a la solución de problemas que tienen un éxito garantizado a la luz del paradigma vigente, es decir, una vez se ha aceptado un paradigma, los científicos depositan toda su confianza en él y toda la investigación está centrada en su articulación. Para ello solucionan problemas de dos tipos: empíricos y teóricos y con ellos se persiguen *prima facie* tres objetivos centrales: (a) la determinación del hecho significativo, *i.e.*, se busca la predicción de información fáctica de valor intrínseco por medio de la cual se muestran nuevas aplicaciones del paradigma y se aumenta su precisión; (b) el ajuste de los hechos con la teoría mediante el diseño y la fabricación de artefactos que permitan mostrar los acuerdos entre el paradigma y la naturaleza y (c) la articulación de la teoría a partir de actividades de acopio de hechos, a la luz de las cuales se dirigen nuevos experimentos porque existe una garantía de solución bajo el paradigma.

Para aclarar lo anterior, en *SScR* Kuhn ofrece un argumento por analogía con base en cual muestra que los episodios de ciencia normal son análogos a la búsqueda de la solución de rompecabezas, dado que los problemas que enfrentan los científicos durante los episodios de ciencia normal son cuestiones que ponen a prueba el ingenio y la habilidad del científico para encontrar una solución que –se supone– está garantizada desde el paradigma. Esta analogía muestra las habilidades que requiere el científico para encontrar las soluciones a la luz del paradigma de la siguiente manera:

Resolver un rompecabezas no es simplemente montar un cuadro. Un niño o un artista contemporáneo podría hacer tal cosa dispersando algunas piezas escogidas como formas abstractas sobre un fondo neutro. El cuadro así producido podría ser muchísimo mejor, y sin duda sería más original que aquel a partir del cual se ha confeccionado el rompecabezas. No obstante, semejante cuadro no sería una solución. Para lograrla hay que utilizar todas las piezas, las caras lisas tienen que estar hacia abajo y deben encajar todas sin forzarse hasta que no quede ningún hueco. (Kuhn, 1996:38)

El ingenio del científico resulta fundamental a la hora del desarrollo en la ciencia normal, pues, se espera, que todas las soluciones encontradas sean compatibles con el paradigma vigente. El resultado de resolver dichos rompecabezas constituye la siguiente característica de la ciencia normal: el progreso de la ciencia normal es fundamentalmente acumulativo.

Kuhn sostiene que “la ciencia normal es una empresa *eminente* acumulativa y eficaz en la consecución del aumento del conocimiento” (1996:52) esto se da porque los científicos dedican la mayor parte de su tiempo a resolver problemas que tienen soluciones garantizadas desde el paradigma mismo, de tal suerte que toda la evidencia tanto empírica como teórica se obtiene en función del aumento de la precisión del mismo, dejando de lado –en muchos casos- aquellos elementos que no encajan con el paradigma vigente. Esto es así, porque durante esta etapa, la comunidad científica cuenta con criterios que hacen posible la elección de los problemas a investigar solamente en función del aumento de la precisión y de la amplitud del paradigma.

El argumento histórico que Kuhn ofrece para defender que hay episodios de ciencia normal y cuyo desarrollo depende de los paradigmas es *la física newtoniana*. Según nuestro autor, esta teoría constituye un paradigma porque contiene todo el *corpus* teórico que sostiene los desarrollos en esta disciplina por varias décadas. El éxito de Newton obedece *inter alia* a que logra una síntesis de las leyes de Galileo y de Kepler.

“Newton logra derivar las leyes de Kepler del movimiento planetario, a la vez que explica algunos aspectos observados en los que la Luna deja de obedecerlas. Por lo que respecta a la tierra derivó los resultados de algunas investigaciones dispersas sobre péndulos y mareas. Con la ayuda de suposiciones adicionales, aunque *ad hoc*, también fue capaz de derivar la ley de Boyle y una fórmula importante para la velocidad del sonido en el aire”. (Kuhn, 1996:30).

Recordemos que la segunda característica de la ciencia normal es la abnegada dedicación de los científicos para encontrar la solución de problemas que tienen un éxito garantizado a partir del paradigma, lo que se puede ilustrar a partir de la invención de instrumentos que garantizan la solución de problemas experimentales. A la luz de este caso histórico, podemos señalar que los científicos más prestigiosos de la época se dedicaron a diseñar las herramientas necesarias para proporcionar los datos especiales que exigían las aplicaciones

concretas de la teoría de Newton. Entre estos instrumentos encontramos el aparato de Cavendish, la máquina de Atwood y el diseño de telescopios especializados. En el seno de esta teoría también se aplicaron sus leyes para la explicación satisfactoria del movimiento perpendicular, se desarrollaron técnicas para determinar la longitud equivalente de un péndulo masivo, y se realizaron análisis de los movimientos simultáneos de dos o más cuerpos que se atraen. De hecho, hasta el siglo XIX una de las tareas que tenían entre manos los físicos newtonianos fue reformular la teoría de una manera equivalente pero lógica y estéticamente más satisfactoria (Cf. Kuhn, 1996:32).

En relación con la capacidad acumulativa de la ciencia podemos decir que se desarrollaron un gran número de experimentos encabezados por los más brillantes científicos de la época, ya que cada nueva formulación de la teoría buscaba la ampliación de la aplicación de la mecánica celeste a fenómenos terrestres. Además, durante esta época hubo una amplia producción bibliográfica y se diseñaron algunas de las técnicas matemáticas más poderosas y brillantes por científicos tan perspicaces como Euler, Lagrange, Laplace.

Una vez que se ha argumentado a favor de la existencia de los periodos de ciencia normal, podemos continuar con el análisis de la estructura del desarrollo científico. Para ello mostraré que la ciencia normal se enfrenta a un conjunto de fenómenos que no encajan con el paradigma vigente, por lo que exigen la búsqueda de soluciones alternativas que obligan a una revisión de dicho paradigma. Este nuevo episodio es el de las anomalías y los descubrimientos científicos.

### ***3ª Condición necesaria para el progreso científico: Las anomalías y los descubrimientos científicos***

La ciencia normal es un empresa fundamentalmente acumulativa y eficaz en la ampliación del conocimiento. Su objetivo principal no es encontrar nuevos fenómenos, sin embargo, a veces aparecen y conducen a descubrimientos de tal suerte que un descubrimiento es el resultado *inter alia* de reconocer una anomalía, que puede ser definida como un fenómeno que no tiene explicación a la luz del paradigma vigente. Una vez que el científico reconoce el fenómeno disruptivo, inicia una etapa de exploración y este proceso sólo se cierra cuando

se hacen los ajustes necesarios para que la anomalía encaje con la teoría vigente o se abre el camino para un cambio de paradigma por medio de la aceptación de una nueva teoría que ofrece una mejor alternativa explicativa.

Recordemos que la propuesta kuhniana nace como una alternativa historiográfica desde la cual se considera que la historia es mucho más que una descripción de fenómenos ubicados en un tiempo y espacio específicos, por lo que su teoría de los descubrimientos abarca todo un proceso conceptual que se da gracias a la satisfacción de las siguientes tres condiciones necesarias y suficientes: (i) *el reconocimiento de una anomalía*, pues todo descubrimiento comienza con la observación de que “la naturaleza ha violado en algún modo las expectativas inducidas por el paradigma que gobierna la ciencia normal” (Kuhn, 1996: 52), lo que conduce al científico a (ii) *explorar el área de la anomalía* a través de un análisis gradual para lograr el reconocimiento observacional y conceptual que permite (iii) *realizar los ajustes necesarios* por medio de una revisión teórica para incluir la explicación del nuevo fenómeno. En caso de que no puedan realizarse los ajustes, se abrirá el camino para un cambio de paradigma.

Más allá de analizar los descubrimientos como fenómenos centrales en el desarrollo de la ciencia, el objetivo de Kuhn es conocer sus implicaciones para el progreso científico. Esto lo logra planteándose las siguientes preguntas: ¿qué pasa en la ciencia después de un descubrimiento? ¿Qué cambia en el desarrollo científico una vez han sido asimilados los descubrimientos? Sus respuestas nos permiten afirmar que los descubrimientos pueden ser de dos clases: *constructivos* o *destructivos*. Los primeros son aquellos que permiten agregar soluciones ingeniosas a la teoría vigente y por lo tanto amplían su capacidad explicativa y predictiva. Los segundos son aquellos descubrimientos que no logran ajustarse a la teoría violando las expectativas de los suscritos a un paradigma; estos causan un desajuste entre la teoría y la naturaleza por lo que -en muchos casos- desencadenan una crisis en el desarrollo de científico.

Kuhn ofrece cuatro casos históricos de descubrimientos, tres de ellos son de naturaleza científica, a saber, el descubrimiento del oxígeno, el descubrimiento de los rayos X y el descubrimiento de la fisión del uranio; el último caso es un descubrimiento técnico: a saber el descubrimiento -o invención- de la botella de Leyden. Resulta particularmente llamativo que en los planteamientos kuhnianos se pueda discernir un análisis de los descubrimientos

técnicos, pues la botella de Leyden es considerada como el primer artefacto capaz de almacenar una cantidad considerable de energía. En lo que sigue me centraré en el análisis de dos de estos argumentos: el descubrimiento del oxígeno y la botella de Leyden, con el propósito de discernir en ellos los patrones históricos que Kuhn identifica en estos episodios de desarrollo de ciencia extraordinaria.

### *El descubrimiento del oxígeno*

Actualmente sabemos que el oxígeno es un elemento químico que encontramos en la atmosfera y que es necesario para la vida terrestre, sin embargo, no siempre fue así, pues hasta 1777 el oxígeno era un elemento completamente desconocido. Un análisis histórico sobre el descubrimiento del oxígeno revela que existieron por lo menos tres personas que se consideraron con el derecho de reclamar este hallazgo, entre ellos, Carl Scheele, Joseph Priestley y Antoine-Laurent de Lavoisier<sup>43</sup>. Aunque el primero de ellos no entró en una disputa por la prioridad del descubrimiento ya que sus trabajos solo fueron publicados después de los trabajos de Priestley y Lavoisier.

En agosto de 1774 Priestley siguiendo un experimento realizado por Bayen<sup>44</sup> recogió un gas emitido por el óxido rojo de mercurio. Hasta ese momento sabía que se trataba de un gas que desprendía ésta y otras sustancias, pero Priestley se dio cuenta de que ese producto permitía la combustión, y, por lo tanto, lo identificó como *aire nitroso*, sustancia que había sido identificada dos años atrás. A finales del mismo mes, viaja a París y le comunica a Lavoisier la nueva reacción, lo que probablemente motiva a su interlocutor a replicar el experimento entre noviembre de 1774 y febrero de 1775. Aquí el reconocimiento de una anomalía se da por medio de la percepción de que había un nuevo elemento en el proceso de combustión, elemento que inicialmente fue identificado como un gas.

La siguiente condición necesaria consiste en un proceso de reconocimiento conceptual y observacional en el cual se combina la experimentación en laboratorio con el recurso a un nuevo equipamiento conceptual. En la prueba histórica del descubrimiento del oxígeno,

---

<sup>43</sup> Ello es una prueba de por qué el reconocimiento de una anomalía es una condición necesaria de los descubrimientos, más no una condición suficiente.

<sup>44</sup> Fue un científico que obtuvo un gas por medio de la calcinación del óxido de mercurio, pero nunca identificó dicho gas como de una especie diferente, ni estudió sus propiedades.

tenemos que en marzo de 1775 Priestley concluye que el gas debía ser aire común, y en mayo Lavoisier afirma que el gas obtenido no era ni aire fijado, ni nitroso, sino un “aire más puro”. Hasta aquí los dos científicos en disputa habían identificado dicho gas como una especie ya conocida. Pero todo cambia cuando Priestley afirma en una publicación en *Philosophical Transactions* que el gas en cuestión era mejor que el aire común y lo identifica como “aire desflogistizado”; mientras que Lavoisier concluye que el gas era un componente separable del aire atmosférico (Kuhn, 1996:193).

Ninguno de estos dos científicos *reconoció* al oxígeno, sin embargo, como bien lo sabemos, Lavoisier insistió hasta el final de sus días, en que el oxígeno era un “principio de acidez atómico” que se formaba cuando se unía con el calórico<sup>45</sup>. De hecho, la falsedad de esta teoría sólo se corroboró en 1860. Por su parte Priestley, afirmó que había encontrado aire desflogistizado y la teoría del flogisto se abandonó aproximadamente en 1789.

En este caso no se logra un *ajuste entre la teoría y el experimento*, pues los resultados obtenidos no se incorporan en la teoría vigente, sin embargo, la combustión se convierte en la clave para la reformulación de la química. Se trata de un episodio ampliamente conocido como “la gran revolución química del siglo XVIII”. Con base en lo anterior, es legítimo afirmar que el descubrimiento del oxígeno es *una Conditio Sine qua Non* para el cambio del paradigma del flogisto por el paradigma de la combustión del oxígeno de Lavoisier, aunque no es una condición suficiente.

A partir de este caso histórico queda bien ilustrada la dificultad que Kuhn reconoce para identificar espaciotemporalmente los descubrimientos científicos ya que es necesario saber que se descubrió algo y *que* es ese algo que se ha descubierto. En palabras del propio Kuhn: “La observación y la conceptualización, como el hecho y la asimilación del hecho a la teoría, se encuentran inseparablemente unidos en el descubrimiento de una novedad científica” (Kuhn, 1996:195).

El siguiente caso histórico tiene una importancia singular a los propósitos de este trabajo, dado que se trata de un descubrimiento técnico. La botella de Leyden es un artefacto que se diseñó a partir de una botella de vidrio cubierta en su exterior con un metal como el estaño,

---

<sup>45</sup> Por mucho tiempo el calórico fue considerado como el principio o agente causante de los fenómenos del calor.

que contenía en el interior una cadena de bronce que descansaba en la parte inferior. El extremo superior de la cadena salía a través de un tapón de corcho y se enganchaba con el gancho o la bola de metal. En lugar de la cadena, algunos prototipos contenían una lámina de metal, perdigones de plomo o de mercurio, o agua con un alambre que sobresalía a través del tapón. Veamos cómo fue este descubrimiento.

Un día cualquiera del año 1746 Andreas Cunaeus, un abogado interesado por los experimentos eléctricos sostuvo en su mano un frasco con agua electrificada, lo que le produjo una fuerte descarga eléctrica con un efecto mayor de lo esperado. Sorprendido por la anomalía percibida describe su experiencia a Musschenbroeck quien decide replicar este experimento en su laboratorio y también recibe una fuerte sacudida que lo electrifica. Ambos investigadores saben que este es un fenómeno anómalo y lo dan a conocer permitiendo el inicio de la *exploración de la anomalía* que permitió realizar versiones cada vez más sofisticadas de la Botella abriendo la puerta a una nueva línea de investigación de los fenómenos eléctricos.

Este descubrimiento técnico, tiene además la singularidad de ser un *descubrimiento serendipico* que se da en un estadio pre-paradigmático de la ciencia, el cual se caracteriza *inter alia* -como ya se indicó arriba- porque hay numerosas escuelas en competencia. Durante esta etapa del desarrollo de la electrofísica, una de las teorías rivales era la del *effluvium* la cual se erigió triunfante, entre otras, porque explicó el funcionamiento de la botella de Leyden. Este descubrimiento hizo posible *ajustar el experimento y la teoría* posibilitando el establecimiento del primer paradigma en los estudios eléctricos gracias a los postulados de Franklin quien partió del análisis de los resultados obtenidos con el experimento de la botella de Leyden, lo que posteriormente le permitió el descubrimiento de la batería<sup>46</sup>.

Con base en el análisis de los casos anteriores podemos decir que aquellos fenómenos que no pueden ser explicados a la luz de la teoría vigente, así como el fracaso de la ciencia normal en la resolución de problemas generan un periodo de inseguridad profesional que se convierte

---

<sup>46</sup> Algunas excavaciones arqueológicas que datan del año 1936 relatan el descubrimiento de lo que parece ser la pila más antigua de la historia, se trata de la pila de Bagdad (del año 226 d. C). El diseño consistía en un recipiente de arcilla con forma de jarrón que tenía en su interior un cilindro de cobre fijado con asfalto y una barra de hierro que parecía haber estado cubierta de plomo. Para analizar este artefacto le conectaron una lámpara que se encendió débilmente, comportándose de la misma manera que una pila eléctrica. Sin embargo, no existen pruebas suficientes de que dicho artefacto cumpliera con las funciones de una batería eléctrica.

en el preludio de la búsqueda de nuevas teorías. Kuhn llama a estos periodos *crisis* y son una señal de que es necesario cambiar las herramientas e instrumentos que nos permiten comprender mejor el mundo, ya que una teoría científica nueva siempre se presenta con un conjunto de aplicaciones más amplio. En lo que sigue me centraré en el análisis de dichos periodos.

#### ***4ª Condición necesaria para el progreso científico: Los periodos de crisis***

Los periodos de crisis en la ciencia se caracterizan principalmente por una incertidumbre que es el resultado de la creencia de que algo ha dejado de funcionar bien dentro de la ciencia normal. Dicha creencia es el resultado de un fracaso persistente en la resolución de los problemas tradicionales y en las reglas que configuran una visión de mundo. De este sentimiento se deriva la consecuente proliferación de distintas versiones del paradigma vigente, *e.g.* había distintas versiones de la teoría del flogisto y de teorías en competencia e incluso de descubrimientos –la mayoría realizados por científicos jóvenes-. Así aparecen varias versiones del paradigma que está en crisis, ocasionando una situación similar a la que se vive en la ciencia pre-paradigmática, que recordemos se caracteriza porque hay numerosas escuelas en competencia.

La tercera característica de este período consiste en recurrir a diferentes puntos de vista para resolver los problemas que se han considerado sin solución a la luz del paradigma vigente. Por ejemplo, es común recurrir a la filosofía como instrumento de reflexión que puede dar algunas luces sobre los problemas centrales a resolver, lo que permite que incluso se retomem algunas soluciones que se habían formulado en el pasado -en un periodo durante el cual no había crisis-. Un claro ejemplo de esta situación lo ilustra la astronomía: el sistema heliocéntrico había sido previsto por Aristarco en el siglo III a.C, periodo durante el cual el sistema geocéntrico era enormemente más razonable. En el caso del oxígeno nos podemos remontar hasta Filón de Bizancio, luego a Leonardo y sus estudios sobre la respiración, y posteriormente al siglo XVII cuando fueron propuestas las teorías de la combustión por absorción por Hooke y Mayow. Finalmente, podríamos decir que en algún sentido la teoría

especial de la relatividad fue anticipada por los críticos relativistas de Newton durante los siglos XVIII y XIX. (C.f. Kuhn, 1996:138).

Kuhn ofrece los siguientes casos históricos a favor de la existencia de los periodos de crisis. La teoría copernicana fue precedida por la ptolemaica que se desarrolló entre los siglos II a.C y d.C. Esta teoría era altamente eficaz para predecir las posiciones cambiantes de las estrellas y los planetas. Sin embargo, nunca coincidió del todo con las observaciones de las posiciones planetarias, ni con la precesión de los equinoccios. (C.f. Kuhn, 1996:68). Para eliminar esta inconsistencia los sucesores de Ptolomeo se dedicaron a la búsqueda de herramientas que les permitieran resolver dichas discrepancias, pero estas soluciones no fueron exitosas ya que las observaciones planetarias disponibles no coincidían de manera satisfactoria con la teoría de Ptolomeo, por lo que cada vez que se realizaban nuevos ajustes aumentaba la complejidad de la teoría, a tal punto que un ajuste generaba una dificultad en otro punto. Estos escollos fueron muy evidentes durante el siglo XVI tanto que Doménico da Novara<sup>47</sup> afirmó que un sistema tan complejo e inexacto como el ptolemaico no podía representar la belleza de la naturaleza. Incluso el propio Copérnico llegó a afirmar “que la tradición astronómica que había heredado había engendrado un monstruo” (Kuhn, 1996:69). El resultado de semejante crisis ocasionada por el fallo de la ciencia normal en la solución de rompecabezas fue lo que llevó a Copérnico, y seguramente a muchos más, a emprender la búsqueda de una nueva teoría, que hoy conocemos como *astronomía copernicana*.

El siguiente argumento histórico muestra la crisis que precedió a la formulación de la teoría de la combustión del oxígeno de Lavoisier, la cual se desarrolló a partir de la década de 1770 cuando confluyeron diversos factores que lograron que la teoría del flogisto entrase en crisis, entre ellos, la aparición de la química pneumática<sup>48</sup> y el problema de las relaciones de los pesos. La química pneumática inicia con el desarrollo de la bomba de aire y su inclusión en los experimentos químicos, lo que permitió que los científicos de la época se dieran cuenta de que el aire debía ser un ingrediente activo en las reacciones químicas, específicamente algún tipo de gas. En 1756 se consideraba que dos muestras de gas se diferenciaban por su

---

<sup>47</sup> Notable astrónomo y matemático que fue profesor y mentor de Copérnico.

<sup>48</sup> La química pneumática fue una especialidad de la química dedicada al estudio de las propiedades físicas de los gases y a las reacciones de dichos gases frente a otras reacciones químicas y su relación con la composición de la materia.

grado de pureza, hasta que aparece en escena el químico escocés Joseph Black quien mostró que el aire fijo ( $\text{CO}_2$ ) era diferente del aire normal. Tras la investigación de Black, los estudios sobre gases avanzaron rápidamente permitiendo distinguir una muestra de gas de otra. Pero esto no constituyó un motivo para dudar de la teoría del flogisto pues la gran mayoría de los químicos creían en ella y la utilizaban en el diseño e interpretación de sus experimentos. Con todo, esta teoría resultaba cada vez menos útil para explicar los resultados obtenidos en el laboratorio, por lo que surgieron innumerables versiones de ella, cada una de las cuales buscaba la manera de hacer coincidir el flogisto con los resultados de su experimentación. Otro de los factores que propició esta crisis en la química fue la insistencia de Lavoisier por explicar el aumento o pérdida de peso en los cuerpos mediante la combustión, ya que existían múltiples teorías que explicaban este fenómeno, pero ninguna de ellas se consideraba satisfactoria. Pese a estas dos grandes dificultades la teoría del flogisto no fue rechazada de manera tajante, por el contrario, se intentaron hacer diferentes adaptaciones para acomodar la teoría a las situaciones de laboratorio (Cf. Kuhn, 1996:70).

El último argumento histórico que Kuhn ofrece consiste en mostrar la crisis que tuvo lugar en la física, a finales del siglo XIX, la cual anticipó el surgimiento de la teoría de la relatividad. Las raíces de esta crisis las podemos rastrear a finales del siglo XVII cuando Leibniz criticó a Newton por suscribir una concepción del espacio absoluto. Esta crítica fue puramente lógica y pretendía mostrar que las posiciones y los movimientos absolutos carecían de funcionalidad dentro del sistema newtoniano, sin embargo, dicha crítica se quedó en un plano puramente teórico y no se analizó desde la aplicación de la teoría newtoniana a la naturaleza (Cf. Kuhn, 1996:73). Otros problemas surgieron durante el desarrollo de la ciencia normal con la aceptación de la teoría ondulatoria de la luz aproximadamente en 1815 ya que la consideración teórica de la luz como un movimiento ondulatorio propagado por un éter mecánico regido por las leyes de Newton, debía verse reflejada en la detección del movimiento a través del éter en la observación de los cielos y en la experimentación terrestre, cosa que nunca sucedió, por lo que el problema pasó del campo experimental al teórico. Un gran número de científicos se dedicó a realizar ajustes a la teoría para explicar la ausencia de datos experimentales y aunque no se obtuvieron los ajustes satisfactorios, la situación permaneció “estable” por un tiempo, hasta que gradualmente se aceptó la teoría electromagnética de Maxwell basada en la creencia de que la luz y el electromagnetismo en

general se debían a desplazamientos variables de las partículas de un éter mecánico, es decir, Maxwell consideraba que su teoría era compatible con las tesis newtonianas, por lo que empezó a trabajar en la articulación de estas teorías. Como no tuvo éxito en dicha empresa, ello terminó desencadenando una crisis en las teorías existentes sobre el movimiento y su relación con el éter. Lo que finalmente permitió el ascenso de la teoría especial de la relatividad en 1905 y la negación de la existencia del éter gracias al experimento Michelson-Morley. (Cf. Kuhn, 1996:74).

Cada uno de los argumentos anteriormente presentados muestra cómo el fracaso persistente en la resolución de problemas genera una crisis que termina por resolverse con la aparición de un nuevo paradigma. Si bien las crisis son una condición necesaria para la aparición de nuevas teorías<sup>49</sup>, éstas toman fuerza por medio de un proceso gradual dentro del cual no se rechaza tajantemente el paradigma que ha conducido hacia la anomalía, así se empiecen a considerar otras opciones. Es decir, los científicos no rechazan las teorías científicas vigentes, ni siquiera siguiendo la vía de la observación y la experimentación. Lo que lleva a un científico a rechazar una teoría previamente aceptada va más allá de una contrastación con el mundo, pues siempre la decisión de rechazar un paradigma va de la mano con la aceptación de otro y de la verificación que se realiza entre los paradigmas y la naturaleza (Cf. Kuhn, 1996:77).

Finalmente, Kuhn considera que una crisis puede concluir de tres maneras: (i) los científicos demuestran que son capaces de resolver los problemas suscitados por la crisis a partir de los ajustes en el paradigma vigente, (ii) las anomalías se muestran como insolubles, por lo que el problema se archiva para el futuro, cuando se dispongan de mejores herramientas, (iii) surge un nuevo paradigma y se libra la batalla por su aceptación. Que se admita un nuevo paradigma y se reemplace por otro, es lo que se conoce como *Revolución científica*, por lo que ahora me concentraré en el análisis de las revoluciones y posteriormente en sus implicaciones.

---

<sup>49</sup> Esta tesis es defendida en *SScR*, sin embargo, en el texto de 1996 Kuhn vacila un poco en relación con esta tesis.

### ***Condición suficiente para el progreso científico: Las Revoluciones Científicas***

Las falencias de la ciencia normal para resolver los problemas de la manera esperada, acompañadas por el surgimiento de anomalías y descubrimientos que no logran ajustarse al paradigma vigente abonan el camino para las revoluciones científicas que “son aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en los que un paradigma antiguo se ve sustituido en todo o en parte por otro nuevo incompatible con él” (Kuhn, 1996:92).

Para argumentar sobre la existencia de esta etapa en el desarrollo de la ciencia Kuhn plantea un argumento por analogía con base en el cual sostiene que la ciencia evoluciona de manera similar a como lo hacen las ciencias biológicas. Este argumento no debe sorprender al lector ya que desde el prefacio de *SScR* el físico norteamericano deja ver su simpatía con un enfoque evolucionista. La selección entre dos teorías rivales consiste en la elección entre dos modelos o alternativas que resultan incompatibles, abandonando un paradigma en función de otro que nos permite una mejor comprensión del mundo gracias a su capacidad explicativa. (Cf. Kuhn, 1996: 232)

Un análisis detenido de este período permite identificar algunas de sus características. Para empezar, toda revolución tiene su origen en un periodo de crisis, es decir, en un periodo durante el cual existe la sensación de que la ciencia normal ha dejado de abordar los problemas correctamente. Esta sensación no necesariamente debe ser experimentada por toda la comunidad científica, basta con que un pequeño grupo de profesionales especializados tengan la sensación de inconformidad para que se empiecen a dar las condiciones revolucionarias. En segundo lugar, las revoluciones no necesariamente deben tener un impacto en todas las áreas de la ciencia, ya que pueden resultar decisivas solo para una comunidad especializada de científicos y pasar desapercibida para quienes no se relacionan con el paradigma. En tercer lugar, no son el resultado del desarrollo acumulativo. Recordemos que durante los periodos de ciencia normal se da un progreso acumulativo en la medida en que los problemas a los que se les da solución aumentan en alcance y precisión. Por contraste, durante las revoluciones, los nuevos fenómenos y conocimientos adquiridos transgreden el paradigma vigente, es decir, no encajan con él, por eso se hace necesario una sustitución revolucionaria. La cuarta característica es que los paradigmas sucesivos son

incompatibles, por lo que el objetivo de una revolución es abandonar el paradigma vigente en función de otro. Dicha incompatibilidad se deriva de dos modos diferentes de abordar la ciencia y sus problemas, de tal suerte que la elección entre paradigmas sucesivos equivale a la elección entre dos modos de vida diferentes donde los científicos “adoptan nuevos instrumentos, miran en lugares nuevos y, lo que resulta más importante, ven cosas nuevas y diferentes cuando miran con instrumentos familiares en los lugares en los que ya antes habían mirado” (Kuhn, 1996:111).

Para abordar este punto debemos preguntarnos ¿qué es lo que separa a los partidarios de uno y otro paradigma? Los científicos que suscriben paradigmas distintos tienen concepciones diferentes sobre la naturaleza de la ciencia y la manera en la que se deben afrontar sus problemas, pues la nueva teoría siempre ofrece nuevos métodos, nuevos problemas, nuevas normas e incluso postula la existencia de nuevas entidades, lo que necesariamente conlleva a una redefinición de la ciencia en la que los cambios profundos exigidos por el nuevo paradigma configuran una nueva visión del mundo. Dicho cambio es tan profundo que no solo resulta incompatible sino *inconmensurable*.

La tesis de la *inconmensurabilidad* hace referencia a la falta de una medida común entre dos teorías que están separadas por una revolución científica. A lo largo de su trabajo Kuhn modifica esta tesis, por lo que podemos encontrar una versión fuerte, conocida como *versión semántica* que fue publicada en 1996 en su *SScR* y una versión sofisticada que aparece en 1990 en “*The Road since Structure*”. Esta última versión es reconocida por algunos especialistas como *la versión taxonómica*.

Para los alcances de este trabajo me centraré en la versión semántica presentada en *SScR* la cual hace referencia a la falta de un lenguaje común que permita hacer traducciones completas y fidedignas entre dos teorías científicas sucesivas separadas por una revolución científica. Este tipo de inconmensurabilidad señala el cambio de los significados y referentes en los conceptos que son comunes dentro de dos teorías científicas. Flórez presenta esta tesis de la siguiente manera:

“Sean  $T_1$  y  $T_2$  dos teorías sucesivas.  $T_1$  es inconmensurable respecto a  $T_2$  si no hay un lenguaje común ( $L_c$ ) que haga posible una traducción del lenguaje  $L_1$  de  $T_1$  al lenguaje  $L_2$  de  $T_2$ ”. (Flórez, 2021: 42)

Este tipo de inconmensurabilidad se caracteriza por quebrantar la comunicación entre los científicos de teorías rivales, pues las dos teorías en contienda parten de observaciones, conceptos y supuestos muy diferentes, que en algunos casos resultan ser irreconciliables.

Los casos históricos ofrecidos por Kuhn para argumentar a favor de la tesis de la inconmensurabilidad son: el tránsito de la física aristotélica a la newtoniana, el tránsito de la teoría del contacto a la teoría química de la pila voltaica (Kuhn, 2000) y el tránsito de la teoría química del flogisto a la teoría de la combustión del oxígeno de Lavoisier. A partir del primer caso Kuhn argumenta que no es posible traducir el término “movimiento” de la cinemática aristotélica por el “movimiento” en sentido newtoniano, respetando el principio de intercambiabilidad, ya que en ambas teorías el término se refiere a conjuntos diferentes de fenómenos. Para Aristóteles el movimiento incluye cambios de estado, ánimo y posición, mientras que para Newton el movimiento sólo se refiere al cambio de estado. En el segundo caso la inconmensurabilidad se da entre los términos “circuito externo” y “batería eléctrica” pues no es posible conservar el significado del primer término en la teoría del contacto en electrostática, como equivalente semántico al término “batería eléctrica” en Volta. Y en el tercer caso la inconmensurabilidad se da entre los términos *flogisto* y *oxígeno* ya que no son semánticamente equivalentes pues el flogisto hace referencia a una sustancia encargada de la combustión, mientras que el oxígeno era considerado como un gas.

Esta versión fue el blanco de muchas críticas, señalando especialmente la incompatibilidad entre la tesis de la inconmensurabilidad y su modelo de progreso científico. A partir de la nueva versión Kuhn modera el impacto de las revoluciones a nivel semántico y acentúa el carácter evolutivo del progreso científico, de tal suerte que la inconmensurabilidad opera como un mecanismo de aislamiento en el desarrollo evolutivo de la ciencia, dando lugar al nacimiento de nuevas especialidades. Así, no solo se libera de la acusación de relativismo epistémico, sino que fortalece su noción de progreso científico a partir de la introducción del concepto de *progreso por especiación*.

## **El progreso científico:** *Una perspectiva revolucionaria.*

La propuesta kuhniana es un modelo de progreso de la ciencia que inicia en sus estadios primitivos y avanza hasta las revoluciones científicas que ofrecen cada vez paradigmas más especializados. Cada una de estas fases constituyen justamente las condiciones necesarias y suficientes del progreso científico. En los episodios de ciencia pre-paradigmática encontramos que aún en la ausencia de un paradigma, hay progreso dentro de cada escuela, progreso que se hace necesario para lograr la madurez que llevará a una de estas teorías rivales a ser parte de un paradigma. En la ciencia normal hay progreso por acumulación debido a que la actividad central de los científicos consiste en resolver aquellos problemas que tienen una solución garantizada a la luz del paradigma, poniendo a prueba el ingenio del científico y su capacidad para resolver problemas. Recordemos que durante esa etapa el científico tiene básicamente tres tareas: (i) determinar cuáles son los hechos significativos, (ii) ajustar la relación entre la naturaleza y la teoría vigente por medio del diseño y la fabricación de artefactos y (iii) articular el paradigma vigente.

Las revoluciones científicas conducen a dos formas de progreso: progreso por sustitución y por especiación. La *sustitución* se da con la aceptación de un nuevo paradigma, el cual triunfa sobre sus rivales, ya sea debido a su precisión, exactitud, fecundidad o alcance predictivo. (Cfr. Kuhn, 1998) La *especiación* se da a partir del surgimiento de nuevas sub-especialidades luego de una revolución científica, *i.e.*, después de una revolución el mundo es abordado desde nuevas categorías que permiten la generación de nuevos campos de estudio cada vez más especializados y reducidos, *e.g.*, la fisicoquímica y la biología molecular.

Estos caminos de progreso explican propuesta por Kuhn desde el prefacio de *SScR* de tal suerte que ofrece una nueva alternativa para el progreso científico que no es teleológica. Es decir, para Kuhn la ciencia no persigue un ideal regulativo, sino que parte de lo dado en la naturaleza, por eso la evolución del conocimiento científico “debe ser considerada como un proceso dirigido desde atrás, y no atraído hacia adelante –como una evolución desde y no una evolución hacia” (Kuhn, 1996:120). Esto le permite a Kuhn excluir el ideal de progreso de la ciencia como el tránsito hacia una meta particular como la verdad, de tal suerte que su

proyecto nace de lo que conocemos, pero no tiene un ideal determinado, porque sencillamente no necesitamos una meta o un fin que perseguir.

En este capítulo presenté cada una de las condiciones necesarias y suficientes para el progreso según el modelo kuhniano de la ciencia. Las condiciones necesarias corresponden a las siguientes fases: (i) ciencia pre-paradigmática, (ii) ciencia normal, (iii) las anomalías y los descubrimientos científicos (iv) los períodos de crisis. La condición suficiente es la sustitución de un paradigma por otro, producto de una revolución científica. Además, indiqué que para Kuhn una de las implicaciones del cambio revoluciones es la inconmensurabilidad entre teorías. En el siguiente capítulo mostraré que en el desarrollo histórico de la tecnología podemos identificar cada una de las condiciones propuestas en el modelo kuhniano para explicar la naturaleza del progreso tecnológico.

### III CAPÍTULO: ¿Qué es el progreso tecnológico?

En este acápite argumentaré que el modelo revolucionario del progreso propuesto por Thomas Kuhn puede explicar con notable éxito el progreso tecnológico. Para ello mostraré que existen episodios de *tecnología pre-paradigmática*, *tecnología normal* y *crisis*. Cada uno de los cuales es una condición necesaria para el progreso tecnológico. Tras hacer lo anterior, defenderé que hay revoluciones tecnológicas<sup>50</sup> las cuales –al modo como progresa la ciencia– son condiciones suficientes para el progreso tecnológico. Para lograr lo anterior, voy a ofrecer una prueba histórica –al modo como lo hace el autor de *SScR*– con base en la cual argumento que los primeros intentos por aprovechar las fuentes naturales de energía son una instancia de tecnología pre-paradigmática; así como el diseño de la máquina de vapor lo es de tecnología normal; y su posterior reemplazo por el motor eléctrico: una instancia de revolución tecnológica.

Es necesario advertir que una extensión del modelo kuhniano no se puede aplicar *vis a vis a la tecnología*, dado que ciencia y tecnología son dos fenómenos diferentes, sin embargo, como voy a defender la historia de la tecnología proporciona abundante evidencia de que la tecnología progresa a partir de mecanismos muy similares que son la fuerza motriz del progreso científico.

#### *El progreso tecnológico: una perspectiva revolucionaria*

El progreso tecnológico al igual que el científico es evolutivo y revolucionario. Evolutivo siguiendo la analogía del modelo de evolución de las especies propuesto por Darwin de acuerdo con el cual la selección natural es el mecanismo de supervivencia que produce seres cada vez más especializados que responden efectivamente a su entorno y con ello mejor adaptados para sobrevivir. En tecnología consideramos que la selección es el mecanismo que nos permite disponer de tecnologías cada vez más articuladas y eficientes, las cuales

---

<sup>50</sup> De hecho, esta es una noción ampliamente aceptada dentro de la historia del pensamiento y del desarrollo de las sociedades ya que todo el mundo acepta que existió una primera revolución industrial impulsada por la máquina de vapor. La segunda revolución industrial fue impulsada por el uso de la electricidad a nivel masivo y el motor de combustión interna, la tercera corresponde a la implementación del uso de electrodomésticos inteligentes y la cuarta corresponde a la aplicación del internet a la industria y el comercio. Ver: Cazadero, Manuel: *Las revoluciones industriales*. (1995).

responden de manera efectiva a las necesidades del hombre. Sabemos que desde hace millones de años el *homo faber* empezó a fabricar herramientas que le garantizaron su supervivencia y que en la actualidad contamos con especializadas herramientas tecnológicas que nos permiten manipular nuestro entorno modificando aspectos de nuestra realidad que hace años, eran casi impensables, potencializando nuestra capacidad de trabajo y mejorando nuestra forma de vida. Sin embargo, no podemos decir que los avances tecnológicos están acabados y que en la actualidad contamos con soluciones técnicas definitivas.

Esta postura es revolucionaria, en la medida en que son las revoluciones tecnológicas las que producen cambios drásticos en la forma de vida del hombre y grandes avances en la interacción con el entorno. Así, cada nuevo diseño paradigmático es mejor que el disponible antes de una revolución tecnológica en la medida en que nos ofrece una manera más eficiente de transformar el mundo.

Esta noción de *progreso* está ligada normativamente al concepto de eficiencia que -como mostré en el primer capítulo- es determinante para la tecnología en la medida en que nos permite evaluar la compatibilidad entre los logros planteados con los resultados obtenidos. Así, el desplazamiento de un diseño paradigmático se da cuando se ha encontrado una solución más *eficiente* que su antecesora. Recordemos, además, que el ingeniero o diseñador debe centrar su trabajo en la resolución de aquellos problemas que necesitan de manera urgente una solución utilizando aquellas herramientas que están disponibles (Cf. Kuhn, 1996:331).

Durante los episodios de *tecnología pre-paradigmática* hay progreso en la medida en que una de las soluciones disponibles debe alcanzar el desarrollo necesario para mostrar ante sus competidoras que merece el título de diseño paradigmático. En la tecnología normal podemos decir legítimamente que hay progreso acumulativo gracias al mejoramiento incremental que hace posible el funcionamiento más eficiente de los artefactos disponibles, a la vez que ofrece soluciones a numerosos problemas en diferentes campos. En los episodios revolucionarios, por contraste, hay progreso en la medida en que los nuevos diseños paradigmáticos ofrecen soluciones más eficientes para una sociedad que avanza a pasos agigantados. De hecho, Kuhn afirma que tras una revolución se aumenta considerablemente la efectividad y la eficiencia con las que la comunidad resuelve problemas” (Cf. Kuhn, 1996: 330), a la vez que

encontramos el surgimiento de sub-áreas de desarrollo cada vez más especializadas. Consideremos con más detenimiento cada una de estas fases:

*Tecnología preparadigmática: los desarrollos previos a la máquina atmosférica.*

Recordemos que de acuerdo con el modelo kuhniano de la ciencia, la fase correspondiente al desarrollo pre-paradigmático se caracteriza por la ausencia de un punto de vista unificado que permita abordar un fenómeno; y por la existencia de numerosas escuelas en competencia, cada una de las cuales busca de manera aislada la mejor solución. En el área de tecnología podemos identificar esta fase si analizamos el desarrollo previo a la invención de la máquina atmosférica, incluyendo todo tipo de artefactos por medio de los cuales se buscaba aumentar la fuerza de trabajo del hombre sin que existiera un consenso sobre los métodos y las herramientas necesarias para lograr dicho propósito. Así, podemos afirmar que antes del desarrollo de la máquina atmosférica no existía una manera generalizada y unificada para la producción de fuerza mecánica, es decir, se intentaron diversas soluciones, pero todas diferentes. De hecho, podemos afirmar que la idea de producir trabajo mecánico fue desarrollada desde la antigüedad, pues claramente un caballo podía realizar mayor trabajo que un hombre, en la medida en que producía más fuerza, y ni qué decir de los molinos de viento cuyo uso se había extendido por toda Europa en el siglo XII o las máquinas y ruedas hidráulicas que aprovechaban los fluidos para generar trabajo mecánico. Así, existían varias soluciones promisorias que tenían la posibilidad de convertirse en diseño paradigmático, entre ellos estaban los molinos de agua, las ruedas hidráulicas, el martillo de pilón accionado por agua, las clepsidras, los molinos de viento tanto horizontales, como verticales, las velas de los barcos, las ruedas, los caballos, las poleas, los ejes y las manivelas, entre otros.

Esta proliferación de soluciones tentativas también nos permite identificar la segunda característica de los episodios pre-paradigmáticos, a saber, la coexistencia de numerosas soluciones en competencia. La variedad disponible de fuentes para obtener energía se puede clasificar según su principio de funcionamiento de la siguiente manera: (i) las *escuelas hidráulicas* cuyo principio de funcionamiento consistía en canalizar fuentes de agua para la producción de trabajo mecánico: aquí encontramos artefactos tan sofisticados como el martillo de pilón accionado por agua, los molinos hidráulicos y las ruedas hidráulicas, entre otros; (ii) los *productores de energía eólica* que funcionaban aprovechando la energía

cinética de las masas de aire, de tal suerte que comprende todos los artefactos accionados por el viento, como las velas de los barcos y los molinos de viento; (iii) los *artefactos de tracción animal* que funcionaban convirtiendo la fuerza producida por diferentes animales en trabajo mecánico, utilizando además, ruedas, poleas, manivelas y otros artefactos; (iv) las *máquinas atmosféricas* que se encargaban de utilizar la presión atmosférica como fuente motriz para realizar diferentes trabajos.

Estas diversas soluciones tecnológicas dieron lugar a la creación de numerosas invenciones que transformaron la vida del hombre, como los relojes y los carruajes, sin embargo, una de estas escuelas ganó la batalla frente a sus rivales por las múltiples oportunidades de exploración que ofrecía a los inventores, convirtiéndose así en una promesa de éxito y en una ruta de indagación digna de navegar por los más brillantes ingenieros e inventores de la época: *la máquina atmosférica*.

*Tecnología normal: la máquina atmosférica, primer paradigma en tecnología.*

Para mostrar que el desarrollo tecnológico exhibe los mismos patrones que Kuhn identificó en su análisis del desarrollo científico voy a defender las siguientes tesis: (i) hay episodios de tecnología normal y lo que garantiza la existencia de dichos episodios es justamente (ii) la existencia de diseños paradigmáticos. Así, entre todas las soluciones técnicas disponibles para aumentar la fuerza de trabajo, cobra gran importancia la máquina atmosférica dado que su sistema innovador permitió de una manera más eficiente aumentar la producción de trabajo mecánico, instaurando con ella un nuevo episodio en el desarrollo tecnológico. Episodio que cumple con cada una de las características que Kuhn atribuye a los periodos de ciencia normal.

La primera característica que Kuhn identifica en los episodios de ciencia normal es que la investigación está basada en un paradigma, que en su correlato en tecnología es un diseño paradigmático. Para mostrar esto voy a argumentar que las máquinas atmosféricas constituyen un diseño paradigmático pues su principio de funcionamiento, *i.e.*, la utilización de la presión atmosférica como fuente motriz, logra unificar distintas fuentes de producción de energía, logrando que cualquier tipo de combustible –incluso algunos tan disímiles como el agua y la pólvora- pudiesen ser utilizadas para la producción de movimiento mecánico. A partir de ello podemos afirmar que, la máquina atmosférica es el primer diseño paradigmático

en los desarrollos tecnológicos en la medida en que logra extraer algunos de los mejores elementos de sus diseños rivales y unirlos a partir de un principio de funcionamiento innovador que se convierte en modelo de investigación por un periodo de tiempo. La segunda característica identificada por Kuhn es que los científicos dedican la mayor parte de la actividad científica a la solución de problemas que tienen un éxito garantizado a la luz del paradigma. En el dominio de la tecnología, ingenieros e inventores se dedicaron desde 1680 hasta aproximadamente 1768 a buscar la manera de mejorar los problemas relacionados con la eficiencia de la máquina, y estas nuevas soluciones siempre estaban sobre la base de que la presión atmosférica era la solución más promisoría. La tercera característica de la ciencia normal que nos permite mostrar que sí que hay progreso en estos episodios, es el desarrollo acumulativo: sin lugar a dudas, en esta tecnología sí que lo hay, pues una vez se estableció que la presión atmosférica era el principio de funcionamiento de dicha máquina, se introdujeron mejoras incrementales que buscaban aumentar la eficiencia del diseño. Así, la primera máquina atmosférica fue la creada el gran físico danés Christian Huygens, quien en 1680 diseñó un artefacto por medio del cual hizo explotar pólvora en un cilindro cerrado con un pistón para aumentar la fuerza de trabajo por medio de la producción de energía, superando así la fuerza producida por los molinos de viento y caballos de fuerza. La idea de Huygens era que, una vez elevado el pistón, la explosión crearía un vacío y el peso de la atmosfera bajaría el pistón. El diseño de esta máquina estuvo vigente por diez años, hasta que en 1690 Denis Papin concibió una forma de usar el vapor para crear un vacío, esto lo logró hirviendo agua sobre una fuente de calor que levantaría el pistón. Luego se debía cerrar el fondo del recipiente por lo que el vapor se enfriaría y condensaría, provocando la caída del pistón. Papin propuso que el fuego se debía aplicar al cilindro y retirarse alternativamente, así que la expansión del agua debía levantar el émbolo por el calor y su contracción por enfriamiento al retirar del fuego debía formar un vacío parcial que generaba el descenso del émbolo por la presión de la atmosfera.

### *Anomalías y descubrimientos.*

Como ya se indicó en el capítulo anterior una anomalía es “un fenómeno que viola las expectativas inducidas por el paradigma vigente” (Kuhn, 1996:103). De ello se sigue que las anomalías son una *Conditio Sine qua Non* para los descubrimientos científicos. En el dominio de la tecnología, no hay anomalías en el mismo sentido que en la ciencia, sin embargo, podemos decir que las anomalías en el progreso tecnológico, las constituyen la falta de eficiencia en la resolución de problemas, es decir, en tecnología será una anomalía el que determinado artefacto no resuelva de manera eficiente los problemas que nacen a la luz de un diseño paradigmático. Algunos de estos problemas pueden ser: el derroche de energía, la necesidad de disminuir los costos de producción, lograr la accesibilidad al público en general e incluso la necesidad de disminuir el tamaño de la máquina. En relación con la máquina atmosférica la falta de eficiencia fue evidente pues, aunque se había perfeccionado su funcionamiento gracias a las mejoras incrementales introducidas en el período de tecnología normal, su funcionamiento era insuficiente para cubrir las demandas sociales, propias de la época.

### *Crisis*

Recordemos que las crisis son aquellos periodos de inseguridad profesional durante los cuales aparecen soluciones alternativas para los problemas planteados debido a la incapacidad del paradigma vigente para ajustarse a los nuevos hechos. Así, en el área de tecnología hablamos de crisis cuando el diseño paradigmático vigente no resulta satisfactorio para suplir las necesidades tecnológicas de una sociedad. Para mostrar que en tecnología existen periodos de crisis de la misma manera que se dan en el desarrollo científico, mostraré los correlatos en tecnología de cada una de las características de esta fase. La primera característica es el fracaso persistente en la solución de problemas que surgen dentro del paradigma vigente, si bien la máquina atmosférica era una solución admirable y un gran paso en la producción de trabajo mecánico, realmente su principio no era eficaz, tomando prestadas las palabras de Kuhn podemos afirmar que “una teoría/solución técnica<sup>51</sup> puede ser admirablemente eficaz, pero no plenamente eficaz” (Cf. Kuhn, 1996:197). La segunda característica es el surgimiento de nuevas soluciones técnicas alternativas, las cuales habían

---

<sup>51</sup> Las cursivas son mías.

sido anticipadas-por lo menos en parte- durante un periodo en el cual no había crisis, así, durante la crisis producida por la falta de eficiencia de las máquinas atmosféricas disponibles en la época, aparece en escena Thomas Savery (1650-1715) quien propone la idea de sustituir la presión atmosférica por la presión del vapor, idea que podemos rastrear desde la antigüedad con el invento de la eolípila por Herón de Alejandría, pero que solo es realmente considerada durante esta época.

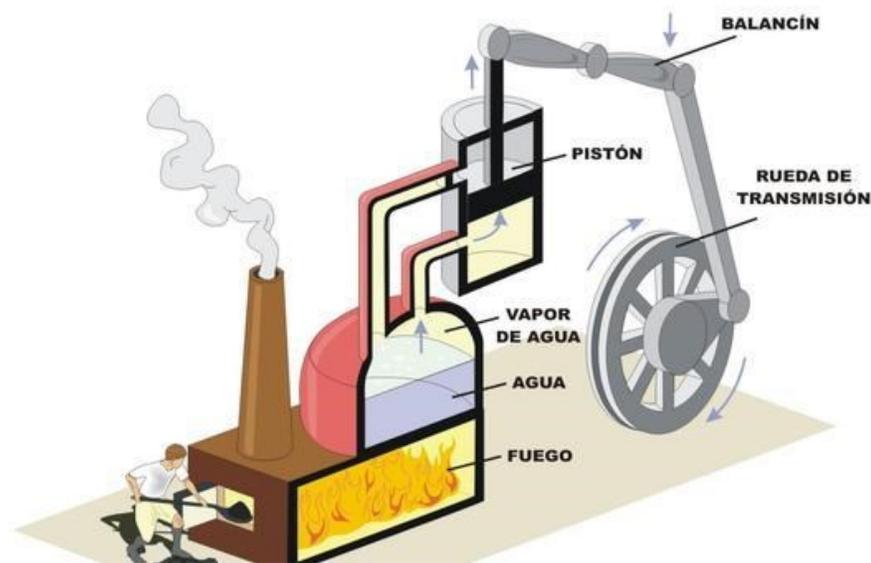
Para finalizar recordemos que para Kuhn los periodos de crisis pueden cerrar de tres maneras: (i) se realiza un ajuste al paradigma vigente, (ii) se archiva el problema con miras al futuro para cuando se dispongan de mejores herramientas o (iii) surge un nuevo paradigma que batalla por su aceptación. En este caso la crisis cerró por la tercera vía con el ascenso de un nuevo diseño paradigmático, a saber, la máquina de vapor, pues como no se logró un ajuste satisfactorio entre los objetivos planeados y los resultados obtenidos, se instauró un periodo crisis, la cual es una condición necesaria para el cambio de paradigma, debido a que es “el persistente fracaso a la hora de resolver como se deberían los rompecabezas de la ciencia normal” (Kuhn, 1996:196), entonces, en tecnología el fracaso persistente de la máquina atmosférica para aumentar la fuerza de trabajo es una condición necesaria para dejarla de lado y dar lugar a una revolución tecnológica en la cual la máquina de vapor se instaura como nuevo diseño paradigmático. Así, el diseño paradigmático de la máquina atmosférica cae en desuso porque un candidato alternativo ocupa su lugar, en palabras de Kuhn: “una vez que ha alcanzado la condición de paradigma, una teoría científica solo se considera invalida si hay disponible un candidato alternativo para ocupar su lugar” (Kuhn, 1996:209), esta afirmación trasladada al dominio de la tecnología me permite decir que la máquina de vapor se convierte en ese candidato alternativo que ocupa el lugar que venía ostentando la máquina atmosférica, debido a que es una propuesta mucho más eficiente. Esta admisión de un nuevo paradigma constituye el tránsito de la ciencia normal a las revoluciones científicas, por lo que ahora me concentraré en el análisis de las revoluciones y posteriormente en sus consecuencias.

#### *Revoluciones tecnológicas: de la máquina atmosférica a la máquina de vapor*

Recordemos que las revoluciones científicas son “aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en los que un paradigma antiguo se ve sustituido en todo o en parte por otro

nuevo incompatible con él” (Kuhn, 1996: 92). El correlato de estos episodios en el desarrollo tecnológico son las revoluciones tecnológicas que son episodios de desarrollo no acumulativo donde un diseño paradigmático se ve sustituido por otro incompatible con él. Con el nuevo diseño paradigmático de la máquina de vapor en escena, inicia una nueva etapa de desarrollo en la historia de la humanidad, durante la cual las otras fuentes de obtención de energía empiezan a ser abandonadas en función del uso de la máquina de vapor con todo el esplendor alcanzado por las mejoras incrementales introducidas por el gran ingeniero mecánico James Watt.

La máquina de vapor se encargaba de transformar la energía térmica de la combustión derivada del vapor de agua en energía mecánica o en movimiento mecánico. Su funcionamiento se da por medio del calentamiento de agua gracias al fuego. Así, el vapor sube por las tuberías y empuja el pistón hacia arriba y hacia abajo, dicho movimiento genera, a su vez, el movimiento de la rueda de transmisión que trasfiere el movimiento hacia otros mecanismo y ruedas. Tal y como lo ilustra la siguiente imagen:



*Ilustración 1*

Imagen tomada de: <https://www.abc.es/cultura/libros/20131123/abci-biblioteca-nacional-maquina-vapor-201311221405.html>

Este invento permitió demostrar que el calor podía ser empleado para realizar trabajo útil, reemplazando algunas de las actividades realizadas por los hombres, los caballos, las caídas de agua, los molinos de viento y las máquinas atmosféricas. Su importancia fue tan grande, que influyó en casi todos los sectores industriales, especialmente en el transporte y la industria textil.

Para mostrar que efectivamente este periodo de desarrollo científico tiene un correlato en el área de tecnología voy a analizar cada una de las características que Kuhn le atribuye a las revoluciones científicas, mostrando su correlato en el desarrollo tecnológico. La primera característica es que dichas revoluciones no son producto de un desarrollo acumulativo, es decir, las revoluciones no se dan como resultado de la investigación propia en ciencia normal, sino que nacen como un nuevo fenómeno. En tecnología, hasta el ascenso de la máquina de vapor los máximos esfuerzos de producción de trabajo mecánico se habían concentrado en ejercer presión utilizando la atmósfera, por tanto, en el uso de vapor como combustible y para ejercer presión no tenía antecedentes relevantes, así que no es el resultado de desarrollo acumulativo, sino una innovación tecnológica, que rompe con la tradición de generación de movimiento para cambiar todo un sistema social.

El principio de funcionamiento de la máquina atmosférica consistía en utilizar la presión de la atmósfera para hacer bajar el pistón que permitía el funcionamiento de la máquina, por contraste en la máquina de vapor se introduce un condensador, el cual permitía realizar el movimiento del pistón accionado por el mismo vapor, aquí se sustituye el uso de la presión atmosférica por el uso de la presión del vapor. La segunda característica es un desplazamiento en la red conceptual a través de la cual el científico ve el mundo, su correlato en tecnología son los cambios de compromisos metodológicos introducidos en una revolución tecnológica, pues después de estas los científicos cambian la manera en la que plantean sus objetivos en relación con el entorno. La tercera característica es que el nuevo paradigma surge en medio de una sensación generalizada de que el antiguo paradigma ha dejado de funcionar adecuadamente, su correlato en tecnología es que, dado que las máquinas existentes hasta la época no eran lo suficientemente eficientes, el paradigma de la máquina atmosférica no funcionaba bien, pues no solucionaba efectivamente las necesidades de una sociedad en crecimiento. La cuarta característica es una redefinición del área de estudio, en nuestro caso,

hay una redefinición de la tecnología pues los múltiples usos de dicho artefacto exceden por completo los límites de su diseño, permitiendo su aplicación a casi todas las esferas de la vida humana, como son la industria marítima, textil, la producción agrícola y el transporte, entre otros, aquí hay un nuevo enfoque en la manera de abordar los problemas existentes y la aplicación del diseño paradigmático en nuevas industrias. Recordemos que en sus orígenes la máquina de vapor se diseñó para drenar agua de las minas de carbón de Inglaterra, pero su éxito fue tan contundente que aumento el rango de problemas abordados permitiendo nuevas preocupaciones a los técnicos e ingenieros quienes amplían su visión hacia un mundo más complejo, al que buscan aportar nuevas soluciones. Así, los problemas a abordar son diferentes, ya no solo se busca aumentar la fuerza de trabajo, ahora se busca mejorar los sistemas de producción y acortar las distancias del mundo, lo cual está estrechamente relacionado con nuestra última característica que se refiere a los cambios en la manera en la que se percibe el mundo, pues la carga teórica de las observaciones nos permite afirmar que un científico percibe el mundo a través de sus compromisos teóricos, así, en el área de la tecnología, una vez se ha instaurado el nuevo diseño paradigmático se abre una nueva visión de mundo, ya que los avances tecnológicos son una puerta abierta a ofrecer cambios en las formas de percibir el mundo, sin lugar a dudas, el mundo era uno antes de la máquina de vapor y otro con ella en funcionamiento, y ni que decir de la extensión de esta máquina a los medios de transporte. Finalmente me voy a concentrar en la tesis de la *inconmensurabilidad* como característica central en las revoluciones científicas. Recordemos que en este trabajo me suscribo a la versión taxonómica de la inconmensurabilidad porque resulta ser mucho más modesta, precisa y sofisticada. Así, mi propósito será mostrar que dentro del desarrollo del progreso tecnológico existe inconmensurabilidad taxonómica, la cual se da entre una clase específica de términos: las categorías taxonómicas. Esta inconmensurabilidad opera como un mecanismo de aislamiento en el desarrollo evolutivo de la ciencia y por ende de la tecnología. A partir de la diferencia léxica que se genera entre dos teorías se da un colapso en la comunicación entre dos científicos.

La tesis de la inconmensurabilidad examinada en el terreno de la tecnología no cambia dramáticamente, dado que se puede identificar la falta de traducción entre los términos que se emplean para describir el funcionamiento de un artefacto, entonces no es que dos artefactos

sean inconmensurables, sino algunos de los términos que emplean los ingenieros o inventores para describirlos. Una formulación explícita de esta tesis, podría ser la siguiente:

*La descripción de dos diseños tecnológicos D1 y D2 son inconmensurables syss algunos de los términos/conceptos que se usan en la formulación del lenguaje de D1 y D2 no son intertraducibles.*

A continuación, presentaré algunos casos históricos que me permitirán apoyar la tesis de la existencia de inconmensurabilidad en el desarrollo tecnológico,

(i) Generador térmico

Previo al desarrollo de la máquina de vapor hablamos de calderas destinadas a calentar agua, a partir de las cuales mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y con una presión mayor a la atmosférica, se produce vapor. Con la vigencia de la máquina de vapor como diseño paradigmático se da una transformación en donde una simple caldera con un sobre calentador se convierte en un *generador térmico*, un artefacto con la capacidad de accionar a toda la máquina de vapor que se convertiría en el motor del desarrollo industrial, hasta que años más tarde y producto de una nueva revolución tecnológica es sustituido por el generador eléctrico.

(ii) Condensador<sup>52</sup>

Antes del desarrollo de la máquina de vapor un cilindro no era más que eso, un cilindro, pero desde el nuevo diseño paradigmático se le confiere un uso específico, que convierte a un cilindro en un artefacto capaz de reducir la pérdida de energía y le otorga el nombre de *condensador*. Antes de la vigencia de este paradigma ya era bien conocido el proceso físico de condensación, pues ya había sido ampliamente explicado, pero no existía un artefacto especialmente diseñado para la realización independiente de este proceso. Así, el condensador se convierte en un artefacto que evitaba las grandes pérdidas de vapor en los cilindros, intensificando las condiciones de vacío.

---

<sup>52</sup> El concepto de condensador utilizado por Watt es termodinámico y por lo tanto difiere del condensador eléctrico, ya que el primero hace referencia a un tubo refrigerante, mientras el segundo a un dispositivo con la capacidad de almacenar carga eléctrica, el cual ha sido anteriormente analizado, en la exposición del argumento de la botella de Leyden.

El condensador mejoró la potencia, eficiencia y rentabilidad de las máquinas de vapor. Las palabras de Watt para introducir el uso de este nuevo artefacto son las siguientes:

“Mi método para reducir el consumo de vapor, y por tanto de combustible en las bombas de fuego, reposa sobre los siguientes principios: 1º La cámara de vapor debe, durante el funcionamiento de la máquina, ser mantenida constantemente a la misma temperatura que el vapor que viene a llenarla. (...) 2º En las máquinas que deben ser puestas en movimiento por la condensación del vapor, esta condensación se efectuará en recipientes cerrados, distintos de las cámaras de vapor, aunque en comunicación con ellas. Estos recipientes, a los que llamo condensadores, deben, cuando la máquina está en marcha, ser mantenidos, constantemente a una temperatura tan baja por lo menos como el aire ambiente”. (Watt, J. 1769, Patente No. 913)

### (iii) Motor

Los estudios en historia de la tecnología nos permiten ver que previo al diseño paradigmático de la máquina de vapor el concepto de *motor* era muy poco utilizado, es decir, semánticamente el termino se utilizaba muy poco, dado que la producción de movimiento mecánico era limitada y por ende la mayoría de la maquinaria era simple, sin embargo, con todo el desarrollo que se da gracias a la máquina de vapor se introduce este término, para referirse al enlace de dos máquinas –incluso más- donde una de ellas producía la fuerza motriz para el funcionamiento del resto del sistema. Es decir, si bien antes del diseño de la máquina de vapor existían motores, el concepto como tal no era de dominio común. Pero, con la máquina de vapor se introdujo el movimiento rotatorio, que permitió múltiples usos, lo que hizo que Watt viera todo un engranaje de posibilidades –motor- donde otros ingenieros solo habían visto máquinas.

Recordemos que el modelo kuhniano es cíclico, en este sentido, una vez que ha pasado una revolución científica se instaura un nuevo periodo de ciencia normal, durante el cual el paradigma vigente permite la producción acumulativa de conocimiento. De la misma manera en la tecnología una vez que se han dado revoluciones tecnológicas, podemos hablar de la instauración de episodios de tecnología normal, donde encontramos un desarrollo acumulativo que es el resultado de la introducción de mejoras incrementales para aumentar la eficiencia de diferentes artefactos.

En el primer capítulo de este trabajo presenté las características de un diseño paradigmático, ahora voy a mostrar que cada una de estas se cumple en la máquina de vapor. En primer lugar, podemos afirmar que un diseño en tecnología es paradigmático en tanto que constituye una promesa de éxito en la solución de problemas en diferentes campos ya que es un modelo de investigación, así, la máquina de vapor en sus inicios fue diseñada para drenar agua de las minas de los bosques de Inglaterra, sin embargo, fue una solución tan eficiente y tan promisoría que se convirtió en modelo de investigación lo que dio como resultado soluciones innovadoras en casi todas las esferas de la producción industrial, pues con base en ella se crearon locomotoras, telares, trilladoras, turbinas y barcos, entre otros. En segundo lugar, podemos decir que un diseño es paradigmático en tanto que involucra un conjunto de compromisos, creencias y acciones –entre otros-, sin lugar a dudas, quienes se comprometieron con el uso, el diseño y el perfeccionamiento de la máquina de vapor estaban convencidos de que el calor era una forma de energía por medio de la cual podía producir movimiento y lograr el cambio de estado en una sustancia, como el agua que pasaba de estado líquido a gaseoso. Los principales compromisos sostenidos por Watt fueron: (i) el vapor es la fuerza que potencia la máquina. (ii) Mientras la máquina esté en funcionamiento el cilindro debe estar tan caliente como el vapor que entra en él. (iii) Es necesario evitar que cualquier sustancia que esté a una temperatura más baja que el vapor se ponga en contacto con ella. (iv) Las máquinas deben ser accionadas por la condensación del vapor y este proceso se debe realizar en un recipiente separado del vapor, el cual debe estar tan frío al menos como el aire que se encuentra alrededor de las máquinas. (v) cualquier cantidad de aire o vapor que haya sido condensada por el frío y que pueda impedir el buen funcionamiento de la máquina debe ser expulsada de los recipientes de vapor por medio de las bombas accionadas por las máquinas mismas. (vi) La fuerza expansiva del vapor puede empujar los pistones por su parte superior, del mismo modo que la presión de la atmósfera funciona en las “máquinas de fuego”. En los lugares donde no haya agua fría en abundancia, las máquinas pueden ser accionadas solo por la fuerza del vapor, descargándolo, una vez haya cumplido su función. (Cf. Baracca, 2002:308). Recordemos que para esa época aún no habían sido formulados los principios de la termodinámica, sin embargo, podemos afirmar que de manera intuitiva

quienes estaban relacionados con este diseño aceptaban el concepto de *eficiencia termodinámica* que posteriormente será desarrollado por Sadi Carnot.<sup>53</sup>

Una vez establecidos los compromisos sostenidos por Watt en el diseño y perfeccionamiento de su máquina de vapor podemos afirmar, que de la misma manera en que los paradigmas son una *conditio sine qua non* para el desarrollo de la ciencia normal, los diseños paradigmáticos son una *conditio sine qua non* para el desarrollo de la tecnología normal.

Una vez que he mostrado que la máquina de vapor es un diseño paradigmático, puedo continuar con el análisis del episodio de tecnología normal, que como mostré al inicio de mi argumentación, corresponde al episodio de ciencia normal que Kuhn identifica en su modelo de progreso. La primera característica de este episodio es la existencia de desarrollo acumulativo, el cual se desarrolla a partir 1698 cuando Thomas Savery obtuvo la primera patente de una máquina de vapor, la cual consistía en un horno y una caldera de la que salían dos tubos que tenían llaves. Estos tubos se prolongaban hasta los dos vasos de vapor que estaban comunicados a dos conductos con válvulas para impedir que descendiese el agua elevada por la condensación o por el vapor. Luego de que uno de los vasos se llenaba de vapor se hacía la condensación por medio de la proyección de agua fría, lo que generaba un vacío y el agua se elevaba cerca de seis metros de profundidad. Posteriormente, esta máquina fue simplificada, utilizando solo un vaso de vapor. Para impedir que la caldera estallase Savery utilizó la válvula de seguridad inventada por Papin, que incluso hoy en día sigue siendo utilizada en las ollas a presión. Esta máquina funcionaba a no más de 12 metros, por lo que resultó ineficiente para el trabajo de las minas, que exigían una máquina mucho más poderosa.

Savery llevó a cabo la condensación en el vaso de vapor por medio de la aplicación de frío en el exterior y empleó un procedimiento para alimentar la caldera con agua caliente. Sus principales defectos consistían en que: (i) se perdía gran parte del vapor al enfriar el vaso y condensar el agua, (ii) el agua no se elevaba a grandes alturas de manera segura; (iii) requería altas presiones y los metales de la época no podían soportar la presión necesaria. Debido a

---

<sup>53</sup> La eficiencia termodinámica es el coeficiente obtenido a partir del cociente del trabajo neto de salida y el calor neto suministrado (Cengel & Boles, 2009). Ese coeficiente muestra la máxima eficiencia termodinámica dada por una máquina.

las dificultades que enfrentó esta máquina en 1712 fue reemplazada por la máquina de Newcomen.

La máquina de Newcomen era una máquina poderosa, económica y superior a cualquier otra solución técnica para bombear agua fuera de las minas. Esta funcionaba a 12 revoluciones por minuto, subiendo 540 litros de agua sobre 46 metros y aunque en su momento fue muy funcional, su rendimiento fue poco satisfactorio ya que el vapor se enfriaba en el propio cilindro. Posteriormente se mejora este prototipo a partir de la realización de la condensación del vapor debajo de un émbolo bien ajustado que se movía en un vaso cilíndrico abierto por arriba. También se introdujo una inyección de agua fría en el cilindro para mejorar su eficiencia, sin embargo, la máquina de Newcomen nunca produjo los resultados esperados.

En 1765 llega al taller del mecánico James Watt<sup>54</sup> una máquina de Newcomen para ser reparada. Al estudiar su funcionamiento Watt se da cuenta de que su problema consistía en tener que enfriar el cilindro para condensar el vapor. Así que propuso mantener el cilindro caliente para mejorar de manera significativa su rendimiento. Esta idea sólo se materializó en 1769 cuando Watt registra la patente de “un nuevo método para reducir el consumo de vapor y combustible en las máquinas de fuego” (Tredgold. 1831: 32). Este nuevo artefacto logró que el vapor se condensara en un recipiente especial, llamado condensador, el cual se conectaba con un tubo al cilindro que se cerraba por sus dos extremos y siempre mantenía el vapor caliente, lo cual ahorra una gran cantidad de combustible. Watt introdujo las siguientes novedades en su diseño: (i) su máquina es una máquina de doble efecto en la cual se emplea el vapor alternativamente al obrar a cada lado del émbolo, mientras se hace vacío en el otro lado; (ii) es una máquina compuesta por medio de la cual une los cilindros y condensadores de dos o más máquinas distintas, de tal manera que el vapor con el que se mueve el émbolo de la primera actúa sobre el émbolo de la segunda y así sucesivamente; (iii) utiliza una barra dentada en lugar de cadenas en los extremos de los émbolos de la bomba y la balanza. (iv) su máquina es de movimiento circular alternativo y no rectilíneo como la

---

<sup>54</sup> Maestro del Colegio de Glasgow dedicado a la fabricación de instrumentos matemáticos. Nació en Gran Bretaña y después de Papin es quien se dedica al estudio de los usos y aprovechamientos del vapor, que hasta el momento eran poco conocidos. Podemos considerarlo el precursor de la revolución industrial ya que sus inventos se propagaron rápidamente por aquellas ciudades que más tarde serían epicentro de dicha revolución, como Londres, Birmingham y Manchester. Cuando sus inventos llegaron a Francia fueron utilizados para el abastecimiento del agua y el bombeo del Sena.

máquina de Newcomen. (v) Introdujo el manómetro para la caldera, el condensador, y el indicador para determinar el estado del vapor en la caldera<sup>55</sup>. Es importante resaltar que antes de Watt la condensación se realizaba en el mismo vaso y no en uno separado, y la inyección de agua fría se realizaba a cada golpe en el cilindro mismo, lo cual obligaba a calentar y enfriar el cilindro generando un gran gasto de vapor y agua fría. Todas estas novedades abren el camino para el concepto de eficiencia termodinámica, que posteriormente fue desarrollado por la ciencia termodinámica, gracias a la cual se evita el derroche de energía en la producción de trabajo, logrando una nula disipación de energía en forma de calor.

Con base en la anterior argumentación puedo afirmar que el periodo de “tecnología normal” es el correlato en tecnología de lo que Kuhn denomina “ciencia normal”, pues de la misma manera que la ley del inverso del cuadrado de Newton sirve como modelo de explicación de una amplia variedad de fenómenos (*e.g.*, los fenómenos electrostáticos, que se explican a partir de la ley de Coulomb, la cual es considerada el análogo perfecto de la ley del inverso del cuadrado), el principio técnico según el cual es posible transformar la energía térmica del vapor del agua en energía mecánica sirve como modelo para el desarrollo de maquinaria utilizable en diferentes dominios como el transporte terrestre y fluvial, permitiendo mover bombas, locomotoras y motores marinos, entre otros.

La segunda característica que Kuhn identifica en la ciencia normal y que tiene su correlato en el episodio de tecnología normal es que la investigación basada en un paradigma, para nuestro caso, un diseño paradigmático, y anteriormente e argumentado ampliamente sobre este punto. La tercera característica de este periodo hace referencia a la cantidad de tiempo invertido en la resolución de problemas que tienen un éxito garantizado a la luz del diseño paradigmático. Existe un problema fundamental del cual se ocupaban quienes trabajaban con la máquina de vapor, este puede ser formulado en una sola pregunta ¿cómo logramos convertir a la máquina de vapor en un sistema más eficiente? Para responder a ella debían solucionar varios aspectos ¿cómo mejorar la relación costo-beneficio? ¿Qué materiales se podían utilizar siendo menos pesados? ¿Cómo convertir el movimiento rectilíneo en circular? ¿Cómo automatizamos la máquina? Para responder a estas y otras preguntas Watt continuó

---

<sup>55</sup> Aunque el manómetro ya había sido inventado para realizar experimentos con bombas de aire en el estudio de la presión atmosférica y la elasticidad del aire, nunca había sido utilizado para perfeccionar el funcionamiento de la máquina de vapor.

con el desarrollo y perfeccionamiento de su máquina, lo que da como resultado la máquina de vapor de doble efecto la cual presentaba un nuevo mecanismo para regular la distribución del vapor. Posteriormente, Watt introduce una varilla que une el émbolo con un balancín articulado, convirtiendo el movimiento rectilíneo en circular. Todas estas modificaciones hicieron posible que la máquina tuviese mayores niveles de funcionalidad y confiabilidad que la hicieron servir de base motriz para máquinas textiles y otros dispositivos más avanzados. Hacia 1800 la máquina estacionaria a vapor ya era un producto comercial presente en toda Europa. Su desarrollo continúa y en 1807 Robert Fulton y en 1814 George Stephenson presentan los primeros barcos y locomotoras, con lo cual se inicia la era de las máquinas a vapor móviles en barcos y ferrocarriles, lo que dio lugar a los mayores emprendimientos comerciales del siglo XIX.

### **Anomalías y descubrimientos**

Siguiendo el correlato arriba establecido entre el modelo kuhiano y el desarrollo tecnológico debemos afirmar que el periodo de tecnología normal empieza a enfrentar dificultades cuando se hace evidente la falta de eficiencia a la hora de resolver los problemas que se presentan a la luz del diseño paradigmático vigente. Así, una anomalía consiste en encontrar a un artefacto que no se ajusta a las necesidades tecnológicas propias de la época. En este sentido las siguientes situaciones demuestran la falta de eficiencia de la máquina de vapor: el peso excesivo de los motores térmicos, lo cual complicaba su transporte. De hecho, los motores más antiguos necesitaban de grandes calderas y tanques de agua que perdían hasta tres litros por kilómetro. Aunque esta pérdida se superó con diversas modificaciones, el problema nunca se solucionó por completo. Además, la máquina de vapor se tardaba mucho en aumentar la presión del vapor antes de comenzar su funcionamiento. Por ejemplo, el manual del coche “Stanley steamer” (1918) establece entre 10 y 15 minutos, para iniciar el funcionamiento, tiempo que podía aumentar en clima frío. Finalmente podemos decir que los altos costos de producción también fueron decisivos para enfrentar una crisis. Kuhn (1962) sostiene que “si el reconocimiento de la anomalía desempeña una función en el surgimiento de nuevos tipos de fenómenos, a nadie habría de sorprenderle que una conciencia similar, aunque más profunda, sea un prerrequisito para todo cambio teórico aceptable” (p. 194), esto aplicado al dominio de la tecnología nos permite afirmar que el reconocimiento de las

anomalías presentes en el diseño de la máquina de vapor, condujo a los ingenieros a explorar nuevas vías de producción de trabajo mecánico lo que posteriormente se tradujo en un cambio de paradigma. En otras palabras “el fracaso de las reglas existentes es el preludio de la búsqueda de otras nuevas” (Kuhn, 2015: 196).

### **La crisis**

Kuhn (1962) define los periodos de crisis como aquellos en los que hay un “persistente fracaso a la hora de resolver como se debería los rompecabezas de la ciencia normal” (p. 196), es decir, la máquina de vapor no era eficiente en la medida en que no era capaz de resolver como la sociedad esperaba todos los rompecabezas propios de este periodo. Además, el mismo Kuhn (1962) reconoce que “una teoría puede ser admirablemente eficaz, pero no plenamente eficaz (p.196) y sin lugar a dudas la máquina de vapor era muy eficaz, más eficaz que cualquier artefacto desarrollado por el hombre hasta la fecha ya que nunca se habían alcanzado los niveles de producción de trabajo mecánico que logró esta máquina, sin embargo, no resultó ser lo suficientemente eficaz para cubrir la demanda social y “el reconocimiento de la falta de eficacia es un prerrequisito para el rechazo de un paradigma” (Kuhn, 1962, p. 197) tanto en ciencia como en tecnología.

La primera característica que Kuhn identifica durante este periodo es el fracaso persistente en la solución de problemas, en el correlato tecnológico dichos problemas son técnicos, recordemos que tal y como lo señalé anteriormente la máquina de vapor funcionaba de la manera más eficiente posible, pero ello no era suficiente para responder a las demandas de la industria. La segunda característica es que la solución para la crisis ya había sido anticipada, por lo menos en parte, durante un periodo en el que no había crisis y fue ignorada. El correlato tecnológico me permite afirmar que antes de la crisis provocada por la falta de aumento en el rendimiento de la máquina de vapor, la solución del motor de combustión interna ya había sido prevista pues en 1807 el ingeniero suizo Francois Isaac de Rivaz había construido un motor de combustión interna propulsado por una mezcla de oxígeno e hidrógeno, con ignición por chispa eléctrica, sin embargo este artefacto no recibió demasiada atención porque todos los esfuerzos estaban concentrados en la máquina de vapor.

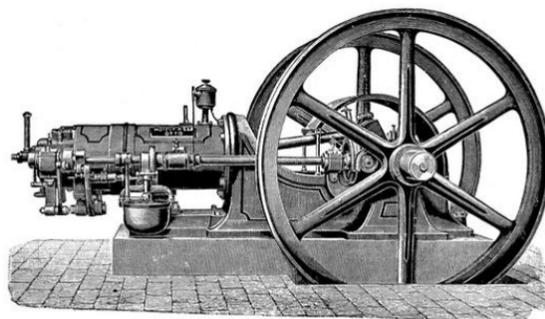
Así, tras el fallo constante en la actividad normal en tecnología se produce el surgimiento de un nuevo diseño paradigmático, pues como veremos más adelante el motor de combustión

interna sustituye a la máquina de vapor. Esta solución técnica ya había sido anticipada en el pasado, sin embargo, no tuvo gran acogida debido a que aún no se habían adelantado las investigaciones necesarias para el desarrollo de combustibles, por lo que su rendimiento inicial no competía con el de las máquinas de vapor. Quiero, parcialmente, concluir con una cita de Kuhn (1962) que hace alusión directa a la tecnología y a los cambios paradigmáticos que aquí se sostienen: “En la ciencia ocurre como en las manufacturas: el cambio de herramientas es una extravagancia que se reserva para las ocasiones que lo exigen” (p.208) y por supuesto el momento histórico exigía el cambio de diseño paradigmático.

### **Las revoluciones tecnológicas: el motor de combustión interna, un nuevo paradigma.**

Este es un cambio revolucionario porque a partir del uso del motor de combustión interna se genera un cambio social sin precedentes, pues los sistemas de producción se vuelven más eficientes, lo que conduce a la expansión de la comercialización, que modifica las formas de vida rural y urbana, los trabajos y las relaciones sociales. El primer motor de combustión interna que logra tener éxito es el de N. A. Otto en 1876, el cual funcionaba a gas. De este prototipo se vendieron unos 50.000 ejemplares cada uno de los cuales desarrollaba una potencia de 200.000 cv. Este motor funcionaba sobre la base del ciclo Otto<sup>56</sup> que fue adaptado a partir de 1890 en todos los motores de combustión interna.

*Ilustración 2*



---

<sup>56</sup> El ciclo Otto es un conjunto de procesos termodinámicos que se aplican en los motores de combustión interna. El encendido es provocado por una chispa eléctrica.

Motor Otto 1876. Imagen tomada de:  
<http://revoluciontecnologicarodriguezjorge.blogspot.com/p/inventos.html>

El motor Otto, era un motor de ciclo de cuatro tiempos, que funcionaba de la siguiente manera: en el primer tiempo la mezcla explosiva se introduce en el cilindro, en el segundo la mezcla es comprimida en el émbolo y encendida, en el tercero la fuerza de la explosión lleva el émbolo a su posición de partida y finalmente el émbolo en su recorrido de vuelta expulsa los productos gaseosos de la combustión, dejando todo dispuesto para un nuevo inicio del ciclo.

Las modificaciones introducidas en este diseño en tamaño, rendimiento, seguridad y en la preparación de combustibles gaseosos, fueron las que lo hicieron competitivo frente a la máquina de vapor, pues en 1881 el motor a gas de mayor potencia tenía unos 20 cv y en 1917, año en el que estaría en completo auge, alcanzó los 5.000 cv.

Los primeros motores de combustión interna funcionaron con gas de hulla, sin embargo, los conocimientos desarrollados en torno a los combustibles líquidos derivados del petróleo desplazaron el uso de dicho gas en virtud de dos causas: la primera era que las fábricas de gas quedaban alejadas y solo abastecían a una parte de la población, por contraste, el combustible líquido que podía ser transportado con facilidad y solo debía ser introducido al interior del motor por la fuerza de la gravedad; la segunda es que la industria del petróleo ofrecía combustible a un precio más competitivo.

Gracias al auge del motor de combustión interna, la máquina de vapor paulatinamente cae en desuso, dando lugar a la sustitución de un diseño paradigmático, *i.e.*, la máquina de vapor, por el motor de combustión interna. Esta sustitución no implica que el diseño paradigmático sustituido no siga desempeñando alguna función, pues aún en la actualidad podemos corroborar la utilidad de dicha máquina, es decir, la máquina de vapor, como diseño paradigmático, no es abandonada de una vez por todas, simplemente se empiezan a considerar otras opciones como el diseño de motores de combustión interna y más adelante los motores eléctricos por ser más eficientes. Recordemos que algo similar ocurre en el dominio de la ciencia, pues a pesar de que el paradigma newtoniano es sustituido por la física de Einstein, sigue desempeñando una función heurística, por ejemplo, enviamos satélites artificiales alrededor de la tierra con base en las leyes de Newton y cuando un ingeniero civil

diseña un puente, debe tener en cuenta las fuerzas que interactúan y a las que se someten las estructuras para ofrecer una obra segura.

El eje central de la sustitución del diseño paradigmático de la máquina de vapor por el motor de combustión interna es el rendimiento que equivale al desperdicio de energía. Por ejemplo, un motor de combustión interna accionado con diésel daba un rendimiento del 45% mientras que el máximo de la máquina de vapor fue un 25%. Esta razón puede ser traducida en costos, ya que, con el mismo combustible, el costo de la máquina de vapor era el doble que el del motor diésel. Además de la rapidez para arrancar, pues el motor de combustión interna se ponía en marcha mucho más rápido que su rival.

Esta sustitución genera cambios profundos en el desarrollo tecnológico, entre ellos la inconmensurabilidad en algunos conceptos, como el de **dinamo**, pues un *dinamo* es un generador eléctrico encargado de transformar el flujo magnético en electricidad mediante inducción electromagnética lo cual genera una corriente continua. El dinamo fue el primer generador eléctrico apto para uso industrial, el cual se desarrolló a partir del diseño paradigmático del motor de combustión interna. Así, no es lo mismo hablar de un generador eléctrico que de un dinamo.

A lo largo de este capítulo se defendió de idea de que la máquina atmosférica y la máquina de vapor constituyen diseños paradigmáticos en el área de la tecnología, de lo cual se sigue que en el desarrollo tecnológico podemos hablar de progreso siguiendo los mismos patrones que Kuhn identifica en el progreso de la ciencia. Así, en la filosofía de la tecnología existe un modelo cíclico de progreso tecnológico, el cual cumple con las siguientes etapas: tecnología preparadigmática, tecnología normal, percepción de anomalías y descubrimientos y finalmente revoluciones tecnológicas.

## CONCLUSIONES

A lo largo de las páginas anteriores argumenté que los patrones que explican el progreso científico en el modelo kuhniano de la ciencia sirven al propósito de explicar la naturaleza misma del progreso tecnológico. Para defender esta tesis, recurrí al desarrollo histórico de la máquina de vapor. Al atender los registros históricos, podemos advertir que el período en que se diseñan los prototipos que preceden a la máquina, y que incluyen *inter alia* a las máquinas atmosféricas exhiben los mismos patrones históricos de la ciencia preparadigmática. Esto fue, justamente lo que me motivó a mostrar que, en el progreso tecnológico, también hay tecnología pre-paradigmática, cuyos rasgos son los estudios aislados sobre el mismo fenómeno, así como la proliferación de diferentes alternativas de solución, sin que éstas converjan en algún punto.

Este proceso permanece así por un periodo de tiempo limitado ya que posteriormente aparece un diseño paradigmático a partir del cual se busca ofrecer soluciones a los problemas disponibles. Dicho diseño rige la investigación en tecnología normal por un largo período de tiempo, ofreciendo soluciones a diversos problemas, y ampliando la posibilidad de soluciones a dominios antes no imaginados. Las aplicaciones tan versátiles de la máquina de vapor ilustran estupendamente bien este rasgo. La máquina de vapor fue diseñada inicialmente para extraer agua de las minas en Inglaterra, pero su uso se amplió a diferentes áreas como la industria textil y el transporte, a partir de innovaciones incrementales. Sin embargo, el desarrollo tecnológico logra que el diseño paradigmático resulte insuficiente, por lo que debe hacerse a un lado para dar paso a una revolución tecnológica como la impulsada por el motor de combustión externa, el cual se convierte en una solución más eficiente que su predecesora, con lo que inicia un nuevo proceso, que culminará con la invención del motor eléctrico.

Naturalmente hay otras opciones disponibles en el concierto de la filosofía de la ciencia para explicar el progreso tecnológico, sin embargo, considero que la extensión del modelo kuhniano es la más acertada, ya que no se requiere forzar la historia de la tecnología para apreciar cómo su desarrollo exhibe las condiciones necesarias y suficientes del modelo kuhniano. Sin lugar a duda, el modelo que aquí se propone para la explicación del progreso tecnológico está sujeto a revisiones, aun así, constituye una solución promisoriosa de un

problema que ha sido descuidado por los filósofos profesionales, aun cuando vivimos en una era profundamente tecnológica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amengual, R. R. (2004). *Análisis de la evolución histórica de las máquinas térmicas durante el periodo 1826-1914 a través de las patentes españolas de la época*. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Industriales (UPM).
- Anahí, A. & Berti, A. (2011). *Artefactos, objetos técnicos y objetos estéticos. Por una adecuación de conceptos*. II COLOQUIO INTERNACIONAL DE FILOSOFÍA DE LA TÉCNICA. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Buenos Aires.
- Aristotle. (1989). *Prior Analytics. Book I: Translated with an Introduction and Commentary by Robin Smith*. Indianapolis: Hackett Publishing Company.
- (2002) *Posterior Analytics. Translated with a Commentary by Jonathan Barnes*. New York: Oxford University Press.
- Baracca, A. (1998). *Las raíces de la revolución científica del siglo XX y el desarrollo de la mecánica cuántica*. Universidad de la Habana.
- Bunge, M. (1966/1974) Technology as Applied Science. In: Contributions to a Philosophy of Technology: *Studies in the Structure of Thinking in the Technological Sciences*. D. Reidel Publishing Company.
- \_\_\_\_\_. (1980) *Tecnología y Filosofía*. En: Epistemología. Editorial Ariel: España.
- Cardwell, D.S.L. (1965). Power technologies and the advance of science, 1700-1825. *Technology and Culture*, VI, 188-203.
- \_\_\_\_\_. (1971). *From Watt to Clausius*. London.
- De Vries, M. (2005) Technological Knowledge. En: *Teaching about technology: An Introduction to the philosophy of technology for nonphilosophers*. Springer.
- Descartes, R. (2002) *Sobre los principios de la filosofía*. Barcelona: Editorial Alianza.

- Díez, J.A. y Moulines, C.U. (1999). *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia*. Barcelona: editorial Ariel.
- Fantl, J. (2012). *Knowledge How*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy.
- Feibleman, J.K. (1983) Pure Science, Applied Science, and Technology: An Attempt at Definitions. En: *Philosophy and Technology: Readings in the philosophical problems of technology*. Carl Mitcham and Robert Mackey (ed). The Free press, New York.
- Flórez, D. (2007) ¿Es la inconmensurabilidad incomparabilidad? *Discusiones filosóficas*, 8(11), 49-60.
- \_\_\_\_\_. (2008) ¿Implica la tesis de la inconmensurabilidad un relativismo epistemológico y ontológico?. En: *Epistemología e historia de la ciencia*, vol. 14.
- \_\_\_\_\_. (2011) *Una defensa de la teoría de la ciencia de Thomas Kuhn*. Manizales: Editorial Universidad de Caldas.
- \_\_\_\_\_ (2020) ¿Hay inconmensurabilidad tecnológica? *Revista Cuadernos de Filosofía*. No. 38 (119-141), Chile. <https://doi.org/10.29393/CF38-5DFHI10005>
- \_\_\_\_\_. (2021a) *La naturaleza del conocimiento tecnológico*. (Trabajo de promoción inédito) Universidad Nacional del Colombia. Manizales.
- \_\_\_\_\_ (2021b, *forthcoming*) *Semantic changes in Technology*. Oxford University Press
- \_\_\_\_\_. (2023, *forthcoming*) Paradigmas: ¿Prisiones mentales?. *Revista Unisinos*. Brasil. Vol. 23 (1), jan-abr.
- Flórez, D. & García, D. (2017). La naturaliza de la tecnología y sus vínculos con la ciencia: una perspectiva realista y analógica. En: *Discusiones filosóficas*. Año 18, (30), enero – junio. 63 – 78. ISSN 0124-6127 (Impreso), ISSN 2462-9596 (En línea).
- \_\_\_\_\_. (2022, *forthcoming*). *A defense of Technology as Applied Science*.
- Frugoni, C. (2008). *Botones, bancos, brújulas y otros inventos de la Edad Media*. Barcelona: Paidós.

- García, C. (1991). *Evolución histórica del pensamiento científico*. Manizales: Universidad de Manizales.
- García, C., (et. al). (2014). *Tres enfoques de la filosofía de la ciencia*. Manizales: Editorial Universidad de Caldas.
- Gimpel, J. (1981). *La revolución industrial en la Edad Media*. Madrid: Taurus.
- Harriman, D. (2010). *The logical leap: induction in physics*. New York: NAL.
- Heilbron, J. (1979). *Electricity in the 17th and 18th centuries: a study of early modern physics*. California: University of California.
- Hulse, D. (1999). *The early development of the steam engine*. Leamington Spa, UK: TEE Publishing.
- Jarvie, I. (1967) Technology and the Structure of Knowledge. En: *Philosophy of Technology: Readings in the philosophical problems of technology*. Mitcham & Mackey (ed). The Free Press, New York.
- Koyré, A. (1982). *Del mundo cerrado al universo infinito*. Madrid, Siglo XXI.
- Kroes, P. (2013). *Engineering Design*. En: *A companion to the Philosophy of Technology*. Jan Kyrre Berg Olsen Friis (et.al). Wiley Blackwell. USA.
- Kanefsky, John; John Robey (1980). «Steam Engines in 18th-Century Britain: A Quantitative Assessment». *Technology and Culture* 21. 161-186.
- Kuhn, T. (1962/1996). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.
- \_\_\_\_\_. (1977). *La Tensión esencial*. México: Fondo de Cultura Económica.
- \_\_\_\_\_. (1996) Postscript. In: *The Structure of Scientific Revolutions*. Third edition. Chicago: The University of Chicago Press.
- \_\_\_\_\_. (1998). “Objectivity, value judgment and theory choice”. In: Klemke et al. (eds.). *Introductory Readings in the Philosophy of Science*. New York: Prometheus Books.

\_\_\_\_\_. (2000) *What are Scientific Revolutions?* En: *The road since structure*. Chicago: The University of Chicago Press.

Landes, D. (2007). *Revolución en el tiempo*. Barcelona: Crítica.

Li-Hua, R. (2013). Definitios of Technology. En: *A companion to the Philosophy of Technology*. Jan Kyrre Berg Olsen Friis (et.al). Wiley Blackwell. USA.

Masterman, M. (1970). The nature of a Paradigm. I. Lakatos y A. Musgrave (eds.), *The Criticism and the growth of Knowledge*. Cambridge University Press.

Mitcham, C. (1994). *Thinking through Technology. The path between engineering and philosophy*. Chicago: University of Chicago press.

Olabuenaga, A. (1997). De la técnica a la techné. A Parte Rei. *Revista de filosofía*. No. 1 junio 1997. Disponible en: <http://serbal.pntic.mec.es/~cmunoz11/techne.html> 168.

Platon. *The Republic*

Polanyi, M. (1964). *Personal Knowledge: Towards a Post- Critical Philosophy*. New York: Harper Torchbooks.

Popper, K. (1939/2005) *The Logic of Scientific Discovery*. New York/London: Routledge Classics.

\_\_\_\_\_ (1970) *Normal Science and its Dangers*. En: *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge University Press.

Putnam, H. (1966) *What Theories Are Not?.* *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics* Vol. 44. 240-8251

Quintanilla, M.A. (2017). Diseño y evaluación de tecnologías. En: *Tecnología un enfoque filosófico: y otros ensayos de filosofía de la tecnología*. México: fondo de cultura económica. <https://es.scribd.com/document/381065115/Tecnologia-Un-Enfoque-Filosofico-de-La-Filosofia-de-La-Tecnologia-Miguel-Angel-Quintanilla>.

Raynaud, D. (2018) *¿Qué es la tecnología?* Editorial: Laetoli.

- Rockman, H. (2004). *Intellectual property law for engineers and scientist*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Rolt, L. T. C & J. S. Allen (1978). *The Steam Engine of Thomas Newcomen*. Ashbourne Derbs: Landmark Publishing.
- Ryle, G. (1949) *The Concept of Mind*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Skolimowski, H. (1966) The Structure of Thinking in Technology. En: *Philosophy and Technology: Readings in the philosophical problems of technology*. Carl Mitcham and Robert Mackey (ed). The Free press, New York.
- Suppe, F. (Ed.) *The Structure of Scientific Theories*. Chicago: University of Illinois Press, 1977.
- Tredgold, T. (1831) *Tratado de las máquinas de vapor y de su aplicación a la navegación, minas, manufacturas, etc.* Madrid: Imprenta de D. León Amarita.
- Valencia-Giraldo, A. (2016). El gran músculo mecánico: la máquina de vapor. *Revista Facultad de Ingeniería*, [S.l.] (n. 23). 120-139. ISSN 2422-2844. Available at: <<http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/326319/20783594>>. Date accessed: 20 oct. 2018.
- Watkins, John (1970) Against 'Normal Science'. En: *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge University Press.
- Wheeler, A. & Ganji, A. (1996) *Introduction to Engineering experimentation*. Prentice Hall, New Jersey.