
Trabajo Fin de Grado

Una lectura del descubrimiento del ADN a través de la teoría paradigmática de Thomas Kuhn

Maria Rodríguez Torres



[ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Aquest treball està subjecte a la llicència [Reconeixement-
NoComercial-SenseObraDerivada 4.0 Internacional \(CC BY-NC-](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Este trabajo está sujeto a la licencia [Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0
Internacional \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

This end of degree project is licensed under the [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0
International \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

FACULTAD DE HUMANIDADES
GRADO EN HUMANIDADES Y ESTUDIOS CULTURALES
TRABAJO DE FIN DE GRADO
CURSO ACADÉMICO 2021-2022

TÍTULO:

**UNA LECTURA DEL DESCUBRIMIENTO DEL ADN A TRAVÉS DE LA TEORÍA
PARADIGMÁTICA DE THOMAS KUHN.**

AUTOR:

MARÍA RODRÍGUEZ TORRES

TUTOR ACADÉMICO:

DR. GABRIEL FERNÁNDEZ BORSOT

Resumen

El propósito del presente trabajo es hacer una lectura de la teoría descrita por Thomas Kuhn, en su libro titulado *La Estructura de las revoluciones científicas*, aplicada a la historia del descubrimiento del ácido desoxirribonucleico. Se trata de abordar cuestiones propuestas por el filósofo de la ciencia como: el descubrimiento, la acumulación, la ciencia normal..., pero siempre enfocados a la historia del descubrimiento de la molécula, un relato que empieza con el religioso Mendel en el siglo XIX, y finaliza con Watson y Crick en 1953.

Esta investigación se enmarca en la cuestión de si es posible aplicar la teoría de Kuhn en disciplinas que no sean la física o la química, por ello el relato histórico narrado está dentro del campo científico de la biología.

El trabajo ha sido realizado mediante dos tipos de fuentes, una primaria que es el propio texto del estadounidense, y otros artículos y libros que contextualizan la historia del descubrimiento. Esto ha permitido hacer un relato lo más neutro y objetivo posible.

Palabras clave: Thomas Kuhn, ADN, Mendel, Watson y Crick, acumulación, ciencia normal.

Abstract

This Final Degree Project aims to read the theory described by Thomas Kuhn, in his book *The Structure of Scientific Revolutions*, applied to the history of the discovery of deoxyribonucleic acid. The aim is to address questions proposed by the philosopher of science such as: discovery, accumulation, normal science..., but always focused on the history of the discovery of the molecule, a story that begins with the religious Mendel in the 19th century, and ends with Watson and Crick in 1953.

This research is framed by the question of whether it is possible to apply Kuhn's theory in disciplines other than physics or chemistry, and therefore the historical story narrated is within the scientific field of biology.

The work has been carried out using two types of sources, a primary one being the American's own text, and other articles and books that contextualise the history of the discovery. This has made it possible to produce a narration that is as neutral and objective as possible.

Keyword: Thomas Kuhn, DNA, Mendel, Watson and Crick, accumulation, normal science.

Índice

1. Introducción (p.5)
2. Síntesis de *La estructura de las revoluciones científicas* (p.7)
 - 2.1 Un papel para la historia (p.7)
 - 2.2 El camino hacia la ciencia normal (p.9)
 - 2.3 La naturaleza de la ciencia normal (p.11)
 - 2.4 La ciencia normal como resolución de enigmas (p.11)
 - 2.5 Prioridad de los paradigmas (p.13)
 - 2.6 La anomalía y la emergencia de los descubrimientos científicos (p.14)
 - 2.7 Las crisis y la emergencia de las teorías científicas (p.15)
 - 2.8 La respuesta a la crisis (p.16)
 - 2.9 Naturaleza y necesidad de las revoluciones científicas (p.19)
 - 2.10 Las revoluciones como cambios del concepto del mundo (p.21)
 - 2.11 La invisibilidad de las revoluciones (p.23)
 - 2.12 La resolución de las revoluciones (p.24)
 - 2.13 Progreso a través de las revoluciones (p.26)
 - 2.14 Recapitulación de *La estructura de las revoluciones científicas* (p.27)
3. La historia del descubrimiento del ADN (p.29)
 - 3.1 Conceptos sobre herencia y ADN (p.29)
 - 3.1.1 Genética (p.29)
 - 3.1.2 Bioquímica (p.29)
 - 3.1.3 Biología celular (p.30)
 - 3.1.4 Célula (p.30)
 - 3.1.5 Cromosomas (p.30)
 - 3.1.6 Cromatina (p.31)
 - 3.1.7 Nucleosomas (p.31)
 - 3.1.8 ADN (p.31)
 - 3.2 La historia del descubrimiento del ADN (p.31)
 - 3.2.1 Antes de Mendel (p.32)
 - 3.2.2 Gregor Mendel: el comienzo del camino (p.34)
 - 3.2.3 Miescher a la par que Mendel (p.38)
 - 3.2.4 Finales del siglo XIX (p.39)
 - 3.2.5 Un momento para la química (p.40)

- 3.2.6 El Rockefeller y la teoría del tetranucleótido (p.41)
 - 3.2.7 El principio de transformación: un paso más hacia el descubrimiento (p.42)
 - 3.2.8 Otro avance del principio de transformación (p.43)
 - 3.2.9 Chargaff continúa explorando el resultado de Avery, McLeod y McCarty (p.44)
 - 3.2.10 ¿El experimento definitivo? (p.44)
 - 3.2.11 La estructura final (p.45)
4. Reflexiones y cuestiones en torno a la historia del descubrimientos del ADN y la teoría paradigmática de Kuhn (p.48)
- 4.1 Entendimiento y visión de la ciencia (p.48)
 - 4.2 Investigaciones sin relación, estudios fortuitos (p.49)
 - 4.3 Física y química en Kuhn. ¿Pero qué sucede cuando hablamos de biología? (p.50)
 - 4.4 Acumulación de ideas y descubrimientos. (p.51)
 - 4.5 ¿Será un caso de ciencia normal? (p.52)
 - 4.6 Las tres características del descubrimiento (p.54)
 - 4.7 La importancia de la comunidad científica (p.56)
 - 4.7.1 La incomprensión de Mendel (p.56)
 - 4.7.2 El caso Miescher (p.57)
 - 4.7.3 El Rockefeller Institute (p.57)
 - 4.7.4 Avery, McLeod y McCarty (p.57)
5. Conclusión (p.59)
6. Bibliografía (p.62)

1. Introducción

La filosofía desde tiempos remotos siempre ha acompañado y guiado a todos los diferentes saberes, sin excedernos podríamos señalarla como la madre de muchas de las disciplinas del conocimiento actuales. Desde la lógica hasta la teología, pasando por la sociología e incluyendo la ciencia y otras muchas más, la filosofía siempre ha estado allí. Grandes intelectuales como Descartes, Spinoza, Leonardo da Vinci... eran científicos, pero también filósofos - e incluso a veces ingenieros, pintores, arquitectos...- , y eran conscientes de esta dualidad en su propia persona.

Sin embargo, desde la Revolución Industrial (1760-1840) la especialización ha sido una constante en todos los campos del saber, pero sobre todo en el propio saber. Las diferentes disciplinas se fueron independizando, y la filosofía fue una de las grandes desafortunadas en todo este proceso, ya que había sido la que había sustentado a todas estas materias y las había dotado de lógica, orden y coherencia. Por ello, la crisis que en la actualidad existe en esta doctrina proviene sobre todo de esta excesiva especialización, y es que la filosofía sin todo lo que la acompaña no puede darse como tal. El último gran sistema filosófico fue el de Friedrich Hegel (1770-1831) el cual unía estos diferentes saberes y los situaba en un marco común y abarcador, pero después de la especialización se hace tremendamente complicado este tipo de sistemas que intentan abarcar toda la realidad, ya que esta no es un conjunto, sino diferentes partes que no tienen por qué interconectarse entre ellas.

El proceso de especialización se extendió hasta en la propia ciencia, ya no era lo mismo estudiar biología, botánica o física, y las personas que se dedicaban a ello compartían visiones diferentes del mundo. Sigue siendo ciencia, pero los antiguos puentes que se establecían entre ellas ya no se desarrollarán.

Como se ha mencionado anteriormente, filosofía y ciencia siempre han sido una dupla en perfecta sincronía, pero debido a estos procesos de separación se instauró una serie de premisas, sobre todo en ciencia, sobre la incompatibilidad de ambas, hacer ciencia ya no era lo mismo que hacer filosofía.

Cabe señalar que la filosofía de la ciencia ha sido una rama importante dentro de la filosofía, destacan en ella filósofos de distintas épocas como: Aristóteles, Arquímedes, Locke, Hume, Kant... Los cuales también eran hombres de ciencia. A pesar de ello, no fue nombrada como la conocemos actualmente hasta el siglo XX, el Círculo de Viena estableció esta “nueva” conexión entre ciencia y filosofía, pero adaptándola a los nuevos paradigmas de la ciencia -recordemos, pues, que la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad cambian la concepción de todo el bloque científico.

Después del famoso Círculo de Viena, algunas de las figuras más influyentes fueron: Karl Popper, Thomas Kuhn y Paul Feyerabend, estudiosos de las ciencias pero siempre teniendo en su punto de mira las disciplinas humanísticas. Por lo tanto, la “recuperación” de la conexión entre ambas disciplinas nos muestra la relevancia que tiene la filosofía para la ciencia, y que se puede seguir filosofando acerca de la ciencia.

Desde siempre me he considerado una persona de ciencia, pero cuando tuve la oportunidad de estudiar filosofía todo un nuevo mundo se abrió ante mí. Así, pues, acabé contra todo pronóstico estudiando humanidades. No obstante, después de cuatro años de grado comprendo a esos grandes intelectuales del renacimiento que no hacían distinción alguna entre ciencias o letras, sino que eran polifacéticos, y ese es el punto de su genialidad.

Nuestro sistema actual perpetúa este grave error en el que debes especializarte y solo tener un horizonte, cuando desde siempre las diferentes ramas del saber se han nutrido entre ellas y han podido convivir en perfecta armonía y disposición.

Por ello, me pareció interesante desarrollar un Trabajo de Final de Grado en el que pudiera volver a esa faceta científica, pero desde la óptica filosófica que he podido adquirir durante estos años, he unido la biología y la gnoseología a través de este trabajo titulado: *Una lectura del descubrimiento del ADN a través de la teoría paradigmática de Thomas Kuhn*.

Para el desarrollo de este trabajo, primeramente, se ha realizado una búsqueda exhaustiva sobre la historia del descubrimiento del ADN, además de analizar y estudiar el mundo conceptual de Thomas Kuhn. Seguidamente, encontraremos el cuerpo argumentativo del trabajo, que aunque se trata de una unidad completa y con coherencia en ella misma, podemos dividirla en tres apartados. Un primero en el que se explica en profundidad las teorías sobre el paradigma de Kuhn. Seguidamente, de la historia del descubrimiento del ADN. Y, por último, la unión de estos dos primeros apartados, es decir, unas reflexiones en torno a la historia del ADN mediante conceptos propuestos por Kuhn. Finalizaremos con unas conclusiones.

Debido al uso de términos muy especializados, sobre todo en el área de biología, es conveniente proporcionar al lector no especializado algunas nociones conceptuales básicas en relación con la biología, y concretamente sobre genética. Estos se podrán consultar al principio del apartado titulado: *La historia del descubrimiento del ADN*.

2. Síntesis de *La estructura de las revoluciones científicas*

Thomas Samuel Kuhn (1922-1996) físico, historiador y filósofo de la ciencia pública en el año 1962 uno de los libros más influyentes de la filosofía de la ciencia: *La estructura de las revoluciones científicas*. En él desarrolla todo su pensamiento respecto a la evolución de la ciencia. Aunque intelectuales como Karl Popper (1902-1994) ya habían planteado pensamientos de este estilo, la novedad de la propuesta de Kuhn es la nueva mirada sociológica de la comunidad científica. Por lo tanto, genera toda una revolución - *nunca mejor dicho*- durante los años sesenta del siglo XX, su pensamiento impera, y abre nuevas rutas para futuros intelectuales de la filosofía de la ciencia como Feyerabend (1924-1994).

Aunque *La estructura de las revoluciones científicas* es un libro conclusivo en el mismo, es decir, en el que el propio autor despliega todo su pensamiento, años más tarde, en concreto en 1969, añade una posdata muy interesante a su libro, en la cual recoge algunas notas que sus críticos le habían señalado. Sin embargo, el esfuerzo del estadounidense por contestar a sus opinantes no acaba en ese breve epílogo, sino que escribe otros trabajos como: *¿Qué son las revoluciones científicas?* (1989), *El camino desde la estructura* (2002) y otros artículos, en los cuales el propio filósofo aclara y amplía sus ideas para poder responder a todas aquellas críticas.

A continuación vamos a exponer este pensamiento tan original de Kuhn, el cual nos dará las claves para comprender algunos de los conceptos que se emplean en la ciencia actual. No obstante, me gustaría destacar que la manera en la que el filósofo desarrolla toda la teoría es a través de ejemplos, en concreto aquellos relacionados con la física. Por lo tanto, vemos como estas tres facetas (físico, historiador y filósofo) quedan expuestas en su teoría, y como este enfoque polifacético le otorga sentido y coherencia a todo su trabajo.

2.1 Un papel para la historia

La dimensión de Kuhn como historiador es esencial y lo podemos percibir por como comienza su libro. Según el propio autor, la historia nos hace ver la ciencia de una manera diferente, transforma nuestra concepción. Sin embargo, la narrativa que los libros de texto para estudiantes cuentan no es la que nos hace cambiar nuestra perspectiva sobre este conocimiento, porque estos libros tienen un objetivo claramente propagandístico (Kuhn, 1997, p.20), el cual más adelante se comprenderá mejor.

Su objetivo con este libro es “trazar un bosquejo del concepto absolutamente diferente de la ciencia que puede surgir de los registros históricos de la actividad de investigación misma” (p.20), es decir,

que la historia puede llevarnos a entender de una manera diferente este supuesto desarrollo de la ciencia.

En estos libros de texto para universitarios, es decir, los propagandísticos, la ciencia se percibe como “la constelación de hechos, teorías y métodos reunidos en los libros de texto actuales” (p.21) y, por ende, los científicos “son hombres que, obteniendo o no buenos resultados, se han esforzado en contribuir con alguno que otro elemento a esa constelación particular” (p.21). Por lo tanto, Kuhn nos está advirtiendo que la concepción que tenemos sobre la disciplina científica es acumulativa y que es la visión que se ha ido trasladando generación tras generación.

Pero debemos destacar que algunos historiadores, antes que Kuhn, pudieron vislumbrar que el desarrollo por acumulación no siempre sucede, sino que existen ciertas cuestiones como: “¿Cuándo se descubrió el oxígeno? o ¿Quién concibió primeramente la conservación de la energía?” (p.22), las cuales no tienen una respuesta cerrada. Esta serie de preguntas llevan al investigador a plantearse que “Quizá la ciencia no se desarrolla por medio de la acumulación de descubrimientos e inventos individuales” (p.22). Este planteamiento por parte de Kuhn es muy interesante y, sobre todo, rompedor, además añade a esta primera exposición un segundo argumento, y es que dentro de la propia ciencia han cabido cuerpos de lo que hoy consideramos creencias completamente incompatibles con las teorías que sostenemos actualmente. Es decir, si el proceso fuera totalmente acumulativo parte de estas antiguas teorías quedarían incrustadas de cierta forma en las actuales, y esto no sucede así, sino que las rechazamos en su totalidad y no están insertadas de ninguna manera.

En este punto es cuando Kuhn nos introduce el concepto de inconmensurabilidad, el cual desarrollará más adelante, pero nos expone que lo que nosotros ahora no consideramos como ciencia, o lo entendemos como una protociencia, realmente era considerado como conocimiento científico en su momento. La cuestión es la manera en como vemos el mundo y entonces como hacemos ciencia, es decir, la inconmensurabilidad que se da es importante porque nos lleva a proceder de diferentes formas (p.25). De esta idea surge un conflicto, y es que nos está proponiendo una ciencia que no es “universalista”, sino que se acerca a un cierto historicismo debido a esta inconmensurabilidad.

Los científicos comparten creencias heredadas que generan fundamento en el desarrollo de la ciencia, y estas creencias suelen ser lo que observamos en los libros de texto. Para Kuhn la ciencia tiene dos momentos, uno que es la ciencia normal, en el cual es “una tentativa tenaz y ferviente de obligar a la naturaleza a entrar en los cuadros conceptuales proporcionados por la educación

profesional” (p.26), y añade que la ciencia extraordinaria es cuando la ordinaria “se extravía” (p.27) y se ve superada por las denominadas anomalías. Son en estos momentos en los que “se inician las investigaciones extraordinarias que conducen por fin a la profesión a un nuevo conjunto de compromisos” (p.27). Por lo tanto, Kuhn está señalando la importancia de la comunidad científica en este proceso de cambio, ya que cuando se produce el enfrentamiento entre los diferentes modos de entender y ver el mundo, suceden las revoluciones científicas.

La comunidad científica juega un papel importante porque para finalizar la revolución o bien deben rechazar una teoría nueva o bien aceptarla (p.30), lo que supondrá que después de acabar este proceso, que puede llegar a ser traumático para los científicos, se transforma de nuevo a ciencia normal.

Por lo tanto, en este capítulo cabe destacar tres aspectos: el primero, la importancia de esta “nueva” historia para poder describir cómo funciona realmente el avance científico; el segundo, que la disciplina pueda no ser acumulativa; y, por último, los conceptos de: inconmensurabilidad, ciencia normal y ciencia extraordinaria.

2.2 El camino hacia la ciencia normal

Este capítulo nos ofrece una definición de lo que el autor entiende por ciencia normal: “significa investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas pasadas, realizaciones que alguna comunidad científica particular reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento para su práctica posterior” (p.33). Comprendemos, pues, que la ciencia normal es el estado en que normalmente los diferentes campos científicos se encuentran, es decir, cuando se practica una ciencia ordinariamente.

En la antigüedad no existían los manuales universitarios que explicarían de una manera propagandística la historia de la ciencia. Sin embargo, las ideas que conforman el cuerpo de la disciplina sí que eran conocidas, esto se debía a que existían los denominados “clásicos de la ciencia”, para comprender este concepto el autor nos otorga de una serie de ejemplos, entre ellos destacan: “la *Física* de Aristóteles, el *Almagesto* de Tolomeo, los *Principios* y *Óptica* de Newton, la *Electricidad* de Franklin (...)” (p.33). Además, de ofrecer un cuerpo, más o menos profundo, del campo de estudio, también cumplen otras dos propiedades básicas: 1) no tienen precedente y 2) son abiertos (p.33).

Cuando estas dos características se dan podemos hablar empezando a hablar de algo parecido al paradigma, ya que este comparte unos mismos modelos concretos (p.34), lo cual está conectado con la inconmensurabilidad. Cuando los modelos, las ideas y los conceptos concuerdan, estamos ante una manera de percibir el mundo particular y se hará ciencia basándose en ello. Por lo tanto, el paradigma congrega esta percepción y hace que “Los hombres (...) están sujetos a las mismas reglas y normas para la práctica científica” (p.34). Además, trae consigo dos cuestiones esenciales para la comunidad científica que son: la unidad y el desarrollo de un campo científico. (p.35).

El mantenimiento continuo de un paradigma es un periodo de ciencia normal, en cambio, cuando hay una transformación de paradigma, no sobre él, sino de este, se produce un momento de ciencia extraordinaria, ergo podemos llegar a una revolución científica. (p.36)

No obstante, tenemos etapas que se denominan preparadigmáticas en la cual no hay una existencia de un cuerpo dogmático como tal, sino que se trata de recolección de hechos (p.41).

Ésta es la situación que crea las escuelas características de las primeras etapas del desarrollo de una ciencia. No puede interpretarse ninguna historia natural sin, al menos, cierto caudal implícito de creencias metodológicas y teóricas entrelazadas, que permite la selección, la evaluación y la crítica. (p.42-43)

Por lo tanto, se generan diferentes modos de interpretar y describir fenómenos, pero esto llegado a un punto desaparece debido a que una de estas “escuelas” se impone y triunfa sobre las otras, no hablamos de paradigmas en este punto, sino que son escuelas preparadigmáticas, porque se trata solamente de una acumulación de hechos.

Es interesante porque Kuhn nos señala la sociología que existe en la ciencia, ya que añade que el triunfo de una de estas escuelas no implica que esta explique y solucione la totalidad de las cuestiones abiertas, sino que los científicos saben convencer mejor y, además, los modelos que se van generando son más atractivos que los otros. (p.44). Sin embargo, siempre deben dejarse cuestiones abiertas que es con las que los investigadores irán trabajando durante los periodos de ciencia normal.

La cuestión es la siguiente: ¿Qué implica la entrada de un paradigma?, es interesante porque cuando un científico no quiere encajar sus teorías dentro de uno, este acaba siendo o bien aislado de

la comunidad científica o bien debe unirse a otro grupo (p.44). Recordemos, pues, que mediante un paradigma se procede a generar todo un mundo que solo puede ser comprendido si estás dentro de las líneas y visiones del propio cuerpo dogmático.

2.3 La naturaleza de la ciencia normal

Kuhn propone que la disciplina científica tiene una dimensión también sociológica, debido a que la comunidad científica tiene un papel fundamental respecto a como la disciplina avanza, y este es uno de los grandes aportes del filósofo. “Los paradigmas obtienen su *status* como tales, debido a que tienen más éxito que sus competidores para resolver unos cuantos problemas que el grupo de profesionales ha llegado a reconocer como agudos” (p.51-52). Aunque no esté resuelto todo dentro del paradigma, existe una “promesa” de poder ir ampliándolo y dar soluciones a las cuestiones que se van presentando (p.52), que los hechos encajen en las propias predicciones del paradigma, y así ir aumentando su certeza.

Esta es la base donde la ciencia normal se desarrolla, por ello, los científicos dedican, en general, la mayor parte de su actividad a estas “operaciones de limpieza” (p.52), u operaciones de retoque, las cuales ya se habían mencionado en el primer apartado, cuando Kuhn definió por primera vez el concepto de ciencia normal.

Cuando no estamos en el contexto de este tipo de ciencia ordinaria no se buscan nuevos fenómenos, incluso si llegan a aparecer y no tienen relación con la teoría actual no existe espacio en la disciplina para ellos, debido también a la inconmensurabilidad. Tampoco se plantean nuevas teorías, es decir, los científicos se enfrentan a tres problemas durante su actividad científica ordinaria, que son los siguientes: 1) determinación del hecho significativo, 2) el acoplamiento de los hechos con la teoría y 3) la articulación de la teoría. Es cierto que durante estos periodos de investigación surgirán problemas extraordinarios; sin embargo, solo se enfrentarán a ellos cuando surgen ocasiones especiales dispuestas por el progreso de la investigación científica (p.66). Por lo tanto, incluso los más grandes científicos suelen resolver los tres problemas que hemos mencionado anteriormente.

2.4 La ciencia normal como resolución de enigmas

Thomas Kuhn es consciente de que si estudiamos la historia de la ciencia observaremos, pues, que a veces se intenta abordar novedades fundamentales bastante importantes (p.69). Entonces, nos podemos cuestionar: ¿Esto no se opone directamente con la idea del propio filósofo sobre la ciencia normal?

Según el norteamericano,

No hay nadie que dedique varios años, por ejemplo, al desarrollo de un espectrómetro perfeccionado o a la producción de una solución mejorada respecto al problema de las cuerdas vibratorias, sólo a causa de la importancia de la información que pueda obtenerse.
(p.69)

Por lo tanto, el asunto está en lo que motiva o fascina a un científico, que es resolver los rompecabezas, ya sean conceptuales o instrumentales contemplados en el paradigma, pero siempre de una manera nueva o singular (p.70), es decir, que representen un desafío o reto.

Los problemas están previstos dentro del paradigma, porque cuando los científicos lo acogen en él mismo viene un “criterio” (p.71) para elegir problemas, recordemos, pues, que las soluciones deben estar articuladas en el propio paradigma, si no se puede generar un problema de inconmensurabilidad. Es decir, solo algunos problemas se consideran científicos.

La ciencia normal avanza con rapidez, ya que el problema está resuelto, solo hace falta el ingenio del científico para “encontrar” la solución (p.71).

Seguidamente, el autor ahonda más en la faceta sociológica tanto de la comunidad como del científico, y añade:

La empresa científica como un todo resulta útil de vez en cuando, abre nuevos territorios, despliega orden y pone a prueba creencias aceptadas desde hace mucho tiempo. Sin embargo, el *individuo* dedicado a la resolución de un problema de investigación normal *casi nunca hace alguna de esas cosas*. Una vez comprometido, su aliciente es de tipo bastante diferente. Lo que lo incita a continuar entonces es la convicción de que, a condición de que tenga la habilidad suficiente para ello, logrará resolver un enigma que nadie ha logrado resolver hasta entonces o, por lo menos, no tan bien. (p.72)

Por lo tanto, lo que detecto que se nos está indicando es que hay un componente a nivel individual que es el afán de sobresalir o destacar del propio del científico, son motivos, en parte, para continuar sus investigaciones.

Por otra parte, cuando el investigador va a resolver el rompecabezas propuesto por la ciencia normal, no puede disponer de cualquier solución, es decir, que aunque su motivación sea la de hacer encajar la naturaleza en un paradigma determinado, no se lleva a cabo de cualquier manera, sino que existen unas reglas, las cuales “Son enunciados explícitos de leyes científicas y sobre conceptos y teorías científicas. Mientras continúan siendo reconocidos, esos enunciados ayudan a fijar enigmas y a limitar las soluciones aceptables.” (p. 75).

Las reglas son esenciales, pero existen otras limitaciones para los científicos como, por ejemplo, los instrumentos y la manera como usarlos (p.76), o, también, los “compromisos cuasimetafísicos” (p.77). Y la promesa que lo constituye como científico, la cual es: “comprender el mundo y por extender la precisión y el alcance con que ha sido ordenado” (p.78).

2.5 Prioridad de los paradigmas

Cuando la comunidad científica ha trabajado en un paradigma determinado durante un largo tiempo suele ser fácil identificarlos (p.80). Lo complicado es encontrar las reglas del propio paradigma: “Como resultado de ello, la búsqueda de un cuerpo de reglas pertinentes para construir una tradición de investigación normal dada, se convierte en una fuente de frustración continua y profunda” (p.81). Es más, el paradigma puede funcionar sin la necesidad de unas reglas: “En realidad, la existencia de un paradigma ni siquiera debe implicar la existencia de algún conjunto completo de reglas” (p.82).

Los científicos trabajan con modelos, los adquieren mediante la educación y la bibliografía, no necesitan comprender por qué son paradigmas comunitarios (p.84), por ello, no precisan del conjunto completo de reglas; sin embargo, hay que tener en cuenta que “La ciencia normal puede seguir adelante sin reglas sólo en tanto la comunidad científica pertinente acepte sin discusión las soluciones de los problemas particulares que ya se hayan llevado a cabo” (p.86).

En los periodos preparadigmáticos sucede que no se puede avanzar si los modelos son inseguros, entonces, se necesitan reglas para guiar y marcar la dirección de la comunidad (p.87), es decir, que se vuelven totalmente necesarias y fundamentales.

Kuhn destaca que este periodo de discusión e inseguridad en la comunidad vuelve a suceder poco antes y durante las revoluciones. Por lo tanto, cuando situamos a una comunidad científica que está intentando avanzar, pero con las reglas demasiado rígidas, estamos, pues, frente a una posible crisis del paradigma. Pero mientras continúen siendo seguros los paradigmas, pueden funcionar

perfectamente incluso “sin acuerdo sobre la racionalización o sin ninguna tentativa en absoluto de racionalización” (p.88).

2.6 La anomalía y la emergencia de los descubrimientos científicos

La ciencia normal suele ser una actividad acumulativa, y si esta tiene éxito descubre novedades (p.92). Entonces, Kuhn se pregunta en qué momento surgen los cambios de paradigma. Y con la primera situación con la que nos encontramos es el incumplimiento de las previsiones, es cuando el científico encuentra lo que denominamos como anomalía (p.93).

Normalmente, cualquier anomalía se explora y se ajusta para que concuerde con el paradigma (p.93), es decir, se asimila. Es más, el autor añade que hasta que el científico no aprenda a ver la naturaleza de un modo distinto, el hecho que aparece como anomalía no lo verá así, pues no será un hecho plenamente científico como tal (p.93).

Otro concepto que debemos poner especial atención es el de descubrimiento, siempre suponemos

que el descubrir, como el ver o el tocar, debe ser atribuible de manera inequívoca a un individuo y a un momento dado en el tiempo. Pero la última atribución es siempre imposible y la primera lo es con frecuencia. (p.97)

Y es que este tipo de procesos toman un tiempo, ya que se debe observar, conceptualizar y asimilar la teoría. Por lo tanto, no debemos entender que el descubrimiento es inmediato, sino que primero tenemos que comprenderlo y para ello debemos tomar conciencia de *qué existe y qué es* (p.97).

Para ejemplificarlo nos muestra dos ejemplos, en concreto los rayos X y el oxígeno, y dice lo siguiente: “En ambos casos la percepción de la anomalía -o sea, un fenómeno para el que el investigador no estaba preparado por su paradigma- desempeñó un papel esencial en la preparación del camino para la percepción de la novedad” (p.100). Es decir, que aunque finalmente se perciba como novedad al principio, debido a la falta de preparación, el científico no se percata lo que tiene frente a él.

También de los tres descubrimientos que nos expone, los cuales son el oxígeno, los rayos X y la botella de Leyden, extrae tres características compartidas: 1) la percepción previa de la anomalía, 2) la aparición gradual y simultánea del reconocimiento tanto conceptual como de observación y 3) el

cambio consiguiente de las categorías y los procedimientos del paradigma acompañados a menudo por resistencia (p.107).

Cuando un científico identifica un fenómeno no previsto en el paradigma, es decir, una anomalía, lo que hará, muy probablemente, será reconducirlo hacia el paradigma, entonces, el descubrimiento acaba en ese momento. (p.109). No podemos considerarlo revolución científica debido a que no se ha enfrentado con otro paradigma, no hay competencia.

Al principio, el desarrollo de la ciencia suele ser simple, pero cuanto más se profundiza en el conocimiento y se da la acumulación de conceptos, se desarrolla una “profesionalización” la cual restringe aún más la visión del científico y se hace palpable la oposición a un cambio (p.110). Y es que Kuhn sostiene que

La anomalía solo resalta contra el fondo proporcionado por el paradigma. Cuanto más preciso sea un paradigma y mayor sea su alcance, tanto más sensible será como indicador de la anomalía y, por consiguiente, de una ocasión para el cambio de paradigma. (...). Asegurando que no será fácil derrumbar el paradigma, la resistencia garantiza que los científicos no serán distraídos con ligereza y que las anomalías que conducen al cambio del paradigma penetrarán hasta el fondo de los conocimientos existentes. (p.111)

2.7 Las crisis y la emergencia de las teorías científicas

Como hemos mencionado anteriormente, cuando surge una anomalía, y se es consciente de ello, se producen cambios, los cuales pueden dirigirse directamente hacia el surgimiento de nuevas teorías (p.113). Cuando la comunidad se enfrenta a esta situación siente una clara inseguridad, ya que todo puede abocar a la destrucción en alguna forma del paradigma, “esta inseguridad es generada por el fracaso persistente de los enigmas de la ciencia normal para dar los resultados apetecidos. El fracaso de las reglas existentes es el que sirve de preludeo a la búsqueda de otras nuevas” (p.115). Sin embargo, debemos señalar que los científicos no cambian normalmente, sino que se aferran a cualquier resquicio de funcionamiento del paradigma, además que un cambio de paradigma puede suponer un trauma para gran parte de la comunidad científica.

El filósofo nos ejemplifica la crisis en la astronomía que tuvo que enfrentarse Copérnico, cuando rechazó el paradigma de Tolomeo (p.117).

A través de una serie de ejemplos, sobre todo relacionados con la física, concluye que

solo surgió una teoría después de un fracaso notable de la actividad normal de resolución de problemas. (...), ese derrumbamiento y la proliferación de teorías, que es su síntoma, tuvieron lugar no más de una o dos décadas antes de la enunciación de la nueva teoría. (p.124-125)

Por lo tanto, que un paradigma dé claras muestras de estar fallando no significa que los científicos lo vayan a ver rápidamente, sino que pueden llegar a tardar su tiempo, y en muchos de los casos los avisos, incluso, suelen ser ignorados.

Finaliza el capítulo afirmando lo siguiente: “El significado de las crisis es la indicación que proporcionan de que ha llegado la ocasión para rediseñar las herramientas” (p.127). Recordemos, pues, que los datos que dan las herramientas y aparatos suelen ya estar previstos. En el momento en el que existe una crisis esos aparatos y herramientas, o la manera de leer los datos, debe cambiarse.

2.8 La respuesta a la crisis

Este es uno de los capítulos más extensos de *La estructura de las revoluciones científicas*, ya que en él se trata uno de los temas más importantes e innovadores de todo el pensamiento de Kuhn.

El surgimiento de una crisis es un hecho al que se debe enfrentar cualquier comunidad científica. La primera respuesta suele ser no renunciar al paradigma que los ha conducido a la crisis pese a la inseguridad que este les provoca e, incluso, aunque ya contemplan otras alternativas. Es decir, que no tratan las anomalías como contraejemplos (p.128). El autor afirma que esta consecuencia suele poderse reconocer cuando estudiamos la historia.

Para que un paradigma pueda ser rechazado debe existir otro candidato, es decir, en ningún momento puede existir el vacío en el lugar del paradigma (p.189). Por lo tanto, la comunidad científica necesita otro para poder plantearse el cierre del anterior. Los paradigmas, pues, establecerán una relación de competencia y serán comparados tanto con la naturaleza como entre ellos (p.129).

Además, los científicos que están aún comprometidos y confiados sobre el antiguo “Inventarán numerosas articulaciones y modificaciones *ad hoc* de su teoría para eliminar cualquier conflicto

aparente” (p.129). Muchos investigadores no consiguen superar una crisis y llegan a tener que abandonar la ciencia (p.130), recordemos, pues, que son momentos muy tensos para una comunidad científica.

Kuhn nos recuerda que una vez hemos empezado a trabajar con un paradigma en ciencia no se puede volver a no hacerlo, por ello, rechazar uno significa sustituirlo por otro en ese mismo instante (p.131). Como tampoco existe investigación sin contraejemplos, pero en momentos de ciencia ordinaria son vistos como rompecabezas, es decir, que la percepción de los científicos cambia totalmente.

Continuamente se menciona que una crisis es traumática y muy dura, y es que la investigación es una búsqueda constante de confirmación, es decir, de validar el paradigma. Cuando un científico fracasa en este proceso no se señala el fallo en el paradigma, sino que en el propio investigador, y es que según su propia comunidad: “Es mal carpintero el que culpa a sus herramientas” (p.133).

Una discrepancia no implica una respuesta profunda que deba hacer tambalear el paradigma, es decir, “una anomalía reconocida y persistente no siempre provoca una crisis” (p.134). Por lo tanto, concluye que una crisis probablemente esté conectada con una anomalía, pero tiene que existir algo más (p.135). Una única anomalía, aunque sea importante, no significa que el paradigma entrará en crisis; sin embargo, más de una puede hacerlo, el ejemplo perfecto de ello es el de Copérnico (p.136). Cuando sucede esto se da la generalización, es decir, ya no solo un científico está interpretando la cuestión, sino que es un grupo más grande, y estos no lo entienden ya como un rompecabezas, sino como una anomalía.

El americano se plantea qué papel tienen los estudiantes en toda esta disposición, y nos señala que aceptan las teorías por la autoridad de los que las explican, es decir, de los profesores y de la bibliografía que pueden consultar (p.133), aprenden, pues, el paradigma y se trabaja en él desde que empiezan a estudiar. Sin embargo, cabe destacar que pueden llegar a ser clave en la transición a un nuevo paradigma, más adelante se desarrollará esta cuestión específica.

El surgimiento de una nueva disciplina es introducido también en este capítulo y se nos menciona que “Si continúa oponiendo resistencia, lo cual sucede habitualmente, muchos de ellos pueden llegar a considerar su resolución como *el* objetivo principal de su disciplina” (p.136).

Cuando la investigación avanza se cuestiona absolutamente todo, las reglas con las que se habían trabajado están más difusas e, incluso, algunas de las soluciones que se habían validado para algunos de los rompecabezas planteados se comienzan a cuestionar, es lógico, pues, pensar que en momento de crisis el actuar pueda parecer extravagante, pero se vive un momento en el cual absolutamente todo por lo que se ha trabajado podría quedar destruido. Algunos científicos, recoge Kuhn, han llegado a poder describir la sensación de ese momento, uno de ellos fue Einstein: “Es como si le hubiera retirado a uno el terreno que pisaba, sin ver en ninguna parte un punto firme sobre el que fuera posible construir” (Einstein según cita de Kuhn, 1997, p.137-138). La situación es parecida a la preparadigmática pero con una mayor discrepancia por parte de la comunidad (p.138-139).

Por otra parte, se puede finalizar de tres formas la situación de crisis inicial. La primera es la vuelta hacia la ciencia normal, la cual sería capaz de manejar el problema surgido. En segundo lugar, el problema persistiría y surgirían otros enfoques, se entiende, pues, que no hay solución en ese momento, pero la cuestión queda abierta para las siguientes generaciones, se suponen que tendrán los medios para resolverlo. Y la última manera de finalizarlo es con el surgimiento de un nuevo paradigma, el cual establece una relación de competencia con el presente, en este caso no sería una finalización total de la crisis, ya que entraríamos en otro momento también delicado. (p.138-139)

El físico destaca la siguiente cuestión: el proceso de cambio de paradigma no es acumulativo, porque no estamos extendiendo el paradigma pasado (p.139), sino que nos desplazamos a otro que no está relacionado. Por ello, los científicos cambian tanto el campo como los métodos y los objetivos, es decir, se trata de una práctica distinta que la anterior.

Cuando la comunidad se enfrenta a la última manera de finalizar una crisis, es decir, el surgimiento de un nuevo paradigma, este puede aparecer de distintas formas, un ejemplo de ello que nos da el autor es el de Lavosier,

En casos como éstos, solo podemos decir que un trastorno poco importante del paradigma y la primera confusión de sus reglas para la ciencia normal, fueron suficientes para sugerirle a alguien un nuevo método para observar su campo. Lo que tuvo lugar entre la primera

sensación de trastorno y el reconocimiento de una alternativa disponible, debió de ser en gran parte inconsciente. (p.141)

Sin embargo, lo más común es que después de intentar encajar las anomalías y observar, pues, que no es posible o son soluciones muy complicadas, entonces el científico recurrirá al azar, ensayará para ver qué pasa, y de ello surgirán teorías especulativas (p.142). El hecho de especular lleva a los investigadores a conectar con un análisis, en muchas ocasiones, más filosófico, utilizan el estudio en estos términos para resolver los enigmas de su campo (p.143).

Anteriormente se ha mencionado el papel de los jóvenes en la ciencia, ciertamente Kuhn los observa desde una óptica pasiva, además de poco crítica. Sin embargo, cuando hay que proponer estos nuevos paradigmas y ahondar en ellos, los jóvenes científicos suelen ser los primeros en ir hacia esa dirección, o bien también personas que son recién llegadas a un campo científico determinado (146-147). Esto se debe a que no existe un compromiso muy grande con el paradigma (p.147), el paso que dan es más orgánico, aunque no por ello más fácil.

Finaliza el capítulo haciendo una distinción que aparentemente puede parecer lógica, pero genera muchas confusiones y errores, se trata de la diferencia entre revolución y ciencia extraordinaria. La primera consiste en la transición hacia un nuevo paradigma (p.147), en cambio, la ciencia extraordinaria es “La proliferación de articulaciones en competencia, la disposición para ensayarlo todo, la expresión del descontento explícito, el recurso a la filosofía y el debate sobre los fundamentos” (p.148).

2.9 Naturaleza y necesidad de las revoluciones científicas

Las revoluciones científicas son “episodios de desarrollo no acumulativo en que un antiguo paradigma es reemplazado, completamente o en parte, por otro nuevo incompatible” (p.149). Estas empiezan cuando una pequeña parte de la comunidad, significativa, se sienten inconformes o perciben que el paradigma no funciona como debería (p.149-150). Podemos decir que se trata de una sensación (p.149), no suele ser general, pero sí que hay un grupo de investigadores que lo notan.

Retomemos de nuevo la idea de inconmensurabilidad, justamente el autor nos la expresa en dos sentidos, el primero es que cuando se escoge un paradigma se está haciendo una elección “entre dos modos incompatibles de vida” (p.152). A continuación, nos menciona que en el momento en el que se defiende el paradigma cada grupo de científicos utiliza ese mismo paradigma para su defensa (p.152), lo que genera, en parte, un argumento circular.

Probablemente una cuestión que debió causar curiosidad a Kuhn fue el cómo se decantan los científicos entre uno u otro. Es decir, se ha mencionado que se defiende un paradigma mediante un argumento circular, lo que denota que mediante la argumentación no deciden, sino que cuando se presenta dicho argumento se muestra como será la práctica científica del nuevo paradigma (p.152), es decir, que se trata de una persuasión. Esta cuestión puede generar asombro porque en ciencia siempre pensamos que no existe espacio para el convencimiento, sino que los hechos son cuestiones que no lo necesitan. Pero Kuhn nos muestra la cara más sociológica de la comunidad y cómo interfieren con las decisiones.

Por lo tanto, no hay ninguna norma más allá que este tipo de argumentaciones que hemos mencionado para que la comunidad científica escoja entre dos diferentes paradigmas en competencia (p.152).

Se aborda la temática sobre la ciencia acumulativa, y cómo esta podría haber sucedido, y destaca que la mayoría de personas tienen esta percepción de las disciplinas científicas. Sin embargo, cuando indagamos en profundidad en el asunto, somos conscientes que no acontece de esta manera plenamente (p.154). Concluye la cuestión afirmando: “La adquisición acumulativa de novedades no previstas resulta una excepción casi inexistente a la regla del desarrollo científico.” (p.155). Es cierto que existen momentos de acumulación, pero esos suceden en periodos de ciencia normal (p.155).

Por otra parte, hay momentos que exigen teorías aplicadas a situaciones y casos concretos o especiales, lo que provocará un suceso negativo, porque “para salvar en esta forma a las teorías, deberá limitarse su gama de aplicación a los fenómenos y a la precisión de observación de que tratan las pruebas experimentales que ya se tengan a mano” (p.161). Esta tesitura puede ser un indicativo del futuro, es decir, que habrá, muy probablemente, un momento de ciencia extraordinaria (p.162). Recordemos, pues, que “Si se toman literalmente las restricciones positivistas sobre la gama de aplicabilidad legítima de una teoría, el mecanismo que indica a la

comunidad científica qué problemas pueden conducir a un cambio fundamental dejará de funcionar” (p.162). Desencadenará que la comunidad empiece a practicar algo que no se parezca mucho a la ciencia (p.162).

Seguidamente, se nos ejemplifica el caso de la mecánica de Newton y la de Einstein, y finaliza el filósofo de la siguiente forma: “Aun cuando una teoría anticuada pueda verse siempre como un caso especial de su sucesora más moderna, es preciso que sufra antes una transformación. Y la transformación solo puede llevarse a cabo con las ventajas de teoría más reciente” (p.164-165).

Los paradigmas entre ellos son irreconciliables, pero tienen la cualidad de explicarnos cosas acerca de esa comunidad y, sobre todo, su comportamiento (p.165). Por lo tanto, Kuhn está elevando la cuestión hacia una perspectiva sociológica bastante interesante. Estas estructuras corresponden a “la fuente de los métodos, problemas y normas de resolución aceptados por cualquier comunidad científica madura, en cualquier momento dado” (p.165). De hecho, un nuevo paradigma es una redefinición de todo el sistema científico afectado por ese cambio, de hecho “algunos problemas antiguos pueden relegarse a otra ciencia o ser declarados absolutamente «no científicos»”(p.165).

Para los investigadores los paradigmas son “mapas” (p.173) de cómo se debe explorar la ciencia, si no sería una tarea inacabable y no sabríamos por dónde empezar.

La inconmensurabilidad se vuelve a observar cuando dos paradigmas en competencia comienzan a mencionar sus propios logros, pero entre ellos no se escucharan ni se entenderán, entonces “se demostrará que cada paradigma satisface más o menos los criterios que dicta para sí mismo y que se queda atrás en algunos de los dictados por su oponente” (p.174).

2.10 Las revoluciones como cambios del concepto del mundo

Se introduce el capítulo de la siguiente manera: “el historiador de la ciencia puede sentirse tentado a proclamar que cuando cambian los paradigmas, el mundo mismo cambia con ellos” (p.176). La cuestión es que cuando un científico adopta un nuevo paradigma ve el mundo de un modo diferente, uno de los casos, que ya hemos mencionado anteriormente, es el de Copérnico (p.148). Por lo tanto, “después de una revolución, los científicos responden a un mundo diferente” (p.176).

Todo este proceso tiene implicaciones muy interesantes, pero hay una que destaca, y es la reeducación del científico (p.177), y esto sucede, puesto que existe la inconmensurabilidad entre distintos paradigmas.

A continuación, Kuhn se plantea las siguientes cuestiones:

¿necesitamos realmente describir lo que separa a Galileo de Aristóteles o a Lavoisier de Priestley como una transformación de la visión? ¿Vieron realmente esos hombres cosas diferentes al *mirar* a los mismos objetos? ¿Hay algún sentido legítimo en el que podamos decir que realizaban sus investigaciones en mundos diferentes? (p.189-190)

Según el propio filósofo, la respuesta general compartida es que cambia la interpretación del científico sobre las observaciones (p.190). No se debe de llevar a cabo una reducción de este modo sobre este tipo de fenómenos, porque va más allá, debido a que “el científico que acepta un nuevo paradigma es como el hombre que lleva lentes inversores” y añade “Frente a la misma constelación de objetos que antes, y sabiendo que se encuentra ante ellos, los encuentra, no obstante, transformados totalmente en muchos de sus detalles” (p.191-192).

El filósofo recoge de nuevo una idea que había mencionado en capítulos anteriores, cuando se acepta un paradigma no se puede corregir en ciencia ordinaria, ya que, entonces, estaríamos hablando de anomalías (p.192). Será una de las reflexiones principales que mencionará durante todo el estudio.

Cuando retoma el tema de la inconmensurabilidad lo desarrolla de una manera muy interesante, ya que nos menciona que han existido intentos por lograr un lenguaje de observación puro, que recordaría a lo que Descartes intentaba llevar a cabo, pero no sé ha podido alcanzar nunca (p.198). Desarrolla el caso de los copernicanos y el sol, estos le negaban al sol el concepto de planeta, esto se debe a que el paradigma determina ya no solo el mundo conceptual, sino también aquello relacionado con la experiencia (p.201-202).

Un aspecto sugerente de la teoría del físico es que proporciona una visión muy completa, un ejemplo de ello es cuando nos advierte de la siguiente cuestión: “Después de una revolución

científica, muchas mediciones y manipulaciones antiguas pierden su importancia y son reemplazadas por otras. (...) Sea lo que fuere lo que pueda ver el científico después de una revolución, está mirando aún al mismo mundo” (p.203). Podemos pensar que Kuhn se está contradiciendo en este punto, pero no es el caso, porque lo que propone es que hasta que la ciencia se reorganice y vuelvan a conseguir hacer encajar la naturaleza en el paradigma pasarán generaciones, por ello, no será un cambio de mundo de golpe, sino que se tendrá que trabajar en ello (p.210), aunque la visión será diferente debido a que los procesos del cambio de paradigma son instantáneos, más adelante ahondaremos en ello. Lo que sí que queda claro que cuando se esté desarrollando y se haya finalizado, es decir, “después de una revolución científica, los científicos trabajan en un mundo diferente” (p.211).

2.11 La invisibilidad de las revoluciones

Cuando se repasa históricamente las revoluciones científicas, algunas pueden ser reconocidas fácilmente; sin embargo, otras han sucedido sin ser vistas, es decir, como invisibles (p.212), la cuestión en este punto es ¿cómo ha acontecido esto?

Los libros de texto son los que nos deberían señalar estos cambios de paradigmas, pero recordemos, pues, que son propagandísticos del propio paradigma, cuando se produce una revolución los libros se reescribirán; sin embargo, se disimulará este fenómeno (p.214). Por lo tanto, “los libros de texto comienzan truncando el sentido de los científicos sobre la historia de su propia disciplina y, a continuación, proporcionan un sustituto para lo que han eliminado” (p.214). Además, señala Kuhn que en el momento en el que se añaden cuestiones del pasado, es decir, de antes del paradigma presente, solo se escogen aquellas que pueden entenderse como una contribución al paradigma actual (p.215). Mediante estos procesos la ciencia adquiere una perspectiva acumulativa y lineal (p.216).

Se presenta la disciplina científica de la siguiente manera: “la ciencia ha alcanzado su estado actual por medio de una serie de descubrimientos e inventos individuales que, al reunirse, constituyen el caudal moderno de conocimientos técnicos” (p.218). No obstante, en capítulos anteriores queda demostrado que esta no es la totalidad del proceso, que si bien existen momentos de acumulación en ciencia ordinaria, el cambio de paradigma no consiste justamente en eso.

La conclusión que se extrae sobre la manera pedagógica que se enseña la ciencia puede generar un cierta desconfianza, porque la imagen que tenemos de la naturaleza y de la ciencia en la

actualidad ha sido determinada por todo este modo de enseñar (p.223), lo que supone, en parte, un engaño, pero, en cierta forma, se trata de un falseamiento inconsciente por parte de la propia comunidad.

2.12 La resolución de las revoluciones

La cuestión con la que se introduce este capítulo es la siguiente: ¿Cuál es el proceso mediante el que un candidato a paradigma reemplaza a su predecesor? (p.224). Parece una cuestión que debería ser muy científica; sin embargo, con todas las cuestiones que se han ido desgranando parece ser que la elección no es tan objetiva.

Los paradigmas en ciencia normal no se contrastan como tal, debido a que los resultados ya son conocidos. Este proceso de contrastación surge cuando tenemos un fracaso persistente que haya generado una anomalía. Por lo tanto,

la prueba no consiste simplemente, como sucede con la resolución de enigmas, en la comparación de un paradigma único con la naturaleza. En lugar de ello, la prueba tiene lugar como parte de la competencia entre dos paradigmas rivales, para obtener la aceptación por parte de la comunidad científica. (p.225)

Recordemos que no existe un lenguaje o sistema conceptual neutral y universal, lo que genera que las alternativas provengan de un paradigma anterior (p.226). Además, Kuhn nos menciona que cuando cambiamos de paradigma no sabemos si es la elección adecuada, no tenemos un “supraparadigma” que nos confirme que la elección de la comunidad supone un avance para la ciencia (p.227).

Los diferentes grupos que se enfrentan mantienen un diálogo, pero no da frutos debido a que nunca aceptan las suposiciones no empíricas del otro, lo que lleva a un diálogo de sordos, la competencia no se resuelve mediante pruebas (p.230). Pero no solo esto, sino que

Puesto que los nuevos paradigmas nacen de los antiguos, incorporan ordinariamente gran parte del vocabulario y de los aparatos, tanto conceptuales como de manipulación, que previamente empleó el paradigma tradicional. Pero es raro que empleen exactamente del modo tradicional a esos elementos que han tomado prestados. En el nuevo paradigma, los términos, los conceptos y los experimentos antiguos entran en relaciones diferentes unos con

otros. El resultado inevitable es lo que debemos llamar, aunque el término no sea absolutamente correcto, un malentendido entre dos escuelas en competencia (p.231).

Además, que un cambio de paradigma o bien se acoge rápidamente por parte de la comunidad científica o bien nunca sucede, no puede ser un proceso que se haga paso a paso (p.233-234).

Max Plank, recoge Thomas Kuhn, en su propia autobiografía nos menciona lo siguiente: “una nueva verdad científica no triunfa por medio del convencimiento de sus oponentes, haciéndoles ver la luz, sino más bien porque dichos oponentes llegan a morir y crece una nueva generación que se familiariza con ella” (p.234-235). Por lo tanto, nos está describiendo de alguna manera un cambio de paradigma.

La resistencia por parte de los investigadores comprometidos con el paradigma es absolutamente normal, y esta ayuda al avance de la ciencia ordinaria, ya que es cuando se quiere mejorar el paradigma para que el nuevo no lo sobrepase (p.235). Y es que en ciencia normal sucede el progreso “Y es solo a través de la ciencia normal como la comunidad profesional primeramente logra explotar el alcance potencial y la justeza del paradigma más antiguo y más tarde, aislar la aporía de cuyo estudio pueda surgir un nuevo paradigma” (p.235-236).

Sin embargo, hay otro tipo de consideraciones que “hacen un llamamiento al sentido que tienen los individuos de lo apropiado y de lo estético: se dice que la nueva teoría es “más neta”, “más apropiada” o “más sencilla” que la antigua” (p.241).

Aunque aparezca un nuevo paradigma, este no soluciona la totalidad de la crisis generada por el anterior, sino que se necesita ahondar y perfeccionarlo para que pueda resolver según qué cuestiones (p.242). Y es que “producirlos es parte de la ciencia normal” (p.242). Además, el nuevo paradigma se enfrenta a lo que el anterior ha conseguido solucionar, que son algunas cuestiones esenciales, y esto lo remarcan los científicos del antiguo paradigma (p.243). “En resumen, si debe juzgarse un nuevo candidato a paradigma desde el principio por personas testarudas que solo examinen la capacidad relativa de resolución de problemas, las ciencias experimentarían muy pocas revoluciones importantes” (p.244).

Por otra parte, aparece un nuevo factor humano que hace que los investigadores se decanten por el nuevo paradigma, se trata de una “fe”, fe de que este proporcione en el futuro soluciones y respuestas, las cuales el antiguo paradigma ya tiene algunas (p.244). Por ello, algo tiene que hacer

que los científicos crean que la nueva propuesta está en el buen camino (p.245), aunque parece de un cierto esoterismo no es del todo así. Sin embargo, el primer grupo que hace este “salto de fe” ha debido observar y entender algo que les ha atraído (p.245-246).

Estos investigadores serán los que desarrollarán más el paradigma, lo que hará que este avance y los siguientes científicos tengan más motivos para sumarse a él, debido a que las bases más fundamentales ya estarán siendo edificadas (p.246).

Finaliza el capítulo desarrollando el caso de un científico que se quede en la anterior paradigma, este “deja *ipso facto* de ser un científico” (p.246).

2.13 Progreso a través de las revoluciones

La ciencia y el progreso siempre se han entendido como uno, es decir, que la investigación científica avanzaba hacia el progreso (p.248), “tenemos tendencia en ver como ciencia a cualquier campo en donde el progreso sea notable” (p.250).

En diferentes ocasiones se ha destacado que durante los periodos de ciencia ordinaria sí que existe el progreso (p.252), en el momento que no contraponemos dos paradigmas es cuando lo observamos. Además, al no tener que defender lo fundamental del paradigma, porque ya está asentado, el científico puede dedicar parte de su investigación a cuestiones más “banales”, por ello, la efectividad aumenta (p.252-253).

“¿Por qué es también el progreso, aparentemente, un acompañante universal de las revoluciones científicas?” (p.256). En este punto se está cuestionando si verdaderamente se produce algún tipo de progreso, este planteamiento viene encajado en la mentalidad de que la ciencia debe ser una empresa que avance. Además, que “el resultado de la revolución debe ser el progreso y se encuentran en una magnífica posición para asegurarse de que los miembros futuros de su comunidad verán la historia pasada de la misma forma” (p.257). Por lo tanto, se lleva a cabo una propaganda por parte de los ya denominados libros de texto, para que se perciba que la revolución ha sido un progreso y que por ello se encuentra en ese punto la ciencia.

Pero recordemos que un cambio de paradigma tiene tanto ganancias como pérdidas; sin embargo, los investigadores nunca tendrán en cuenta lo segundo, sino que siempre se proyecta como una ganancia total (p.257-258).

La comunidad científica es la reguladora de su propia comunidad y disciplina, porque “Los miembros del grupo, como individuos y en virtud de su preparación y la experiencia que comparten, deberán ser considerados como los únicos poseedores de las reglas del juego o de alguna base equivalente para emitir juicios inequívocos” (p.259).

La conclusión de Kuhn es que los cambios de paradigma no tiene por qué acercar más a la verdad,

Quizá indiquen que el progreso científico no es completamente lo que creíamos. (...) Para ser más precisos, es posible que tengamos que renunciar a la noción, explícita o implícita, de que los cambios de paradigma llevan a los científicos, y aquellos que de tales aprenden, cada vez más cerca de la verdad. (p.262)

Para Thomas Kuhn la ciencia no es “un proceso de evolución *hacia* algo” (p.263).

2.14 Recapitulación de *La estructura de las revoluciones científicas*

En los periodos preparadigmáticos el objetivo principal es la acumulación de datos e información, pero sin ningún tipo de estructura. Las diferentes escuelas que existen durante este período van obteniendo notoriedad y, sobre todo, van estructurando todo su cuerpo canónico. En algún momento las más importantes constituidas se enfrentarán, finalizará esta competencia cuando triunfe una sobre las otras, así, pues, se establecerá el paradigma de esa escuela.

Empezará una época de ciencia normal en el que se buscará reafirmar las predicciones del paradigma y se producirá el conocimiento mediante la acumulación. Los científicos irán resolviendo los rompecabezas y trabajarán enteramente dentro del paradigma, también a las futuras generaciones se les enseña dentro de este paradigma, ya sea mediante los profesores o la bibliografía.

Estos momentos de ciencia ordinaria suelen durar mucho tiempo, es como normalmente la ciencia se encuentra; sin embargo, cuando un grupo de científicos, normalmente jóvenes, comienza a dudar sobre el paradigma debido a las anomalías que detectan, y ya no las perciben como rompecabezas, se puede llegar a producir un nuevo momento de ciencia extraordinaria.

Los investigadores irán generando otro discurso diferente al del paradigma, el mundo para ellos es diferente del de los otros científicos que trabajan con el anterior paradigma. Cuando los dos

paradigmas entran en competencia estamos en una revolución científica, la cual finalizará o bien con la aceptación del nuevo paradigma o bien con el mantenimiento del anterior.

Debido a todo este proceso de discusión entre los diferentes partidarios de los paradigmas, se rompe la dinámica de la ciencia normal, así se entra en la ciencia extraordinaria. La manera como se escoge el nuevo paradigma es una de las cuestiones interesantes que plantea Kuhn, porque debido a la inconmensurabilidad y a la inexistencia de un supraparadigma, la decisión queda en manos de los diferentes miembros de la comunidad científica. Por lo tanto, la noción de progreso queda en un segundo plano, ya que no se puede saber nunca si el cambio de paradigma o la continuación en el anterior es positivo o negativo. No obstante, para el filósofo existen momentos de progreso, es decir, donde el conocimiento avanza, y esto se produce en la ciencia normal.

3. La historia del descubrimiento del ADN

En el año 1962 se entregaba el premio Nobel en Química a los científicos Francis Crick (1916-2004) y James Watson (1928), el 25 de abril de 1952, es decir, diez años antes, habían publicado en la famosa revista *Nature* uno de los estudios más importantes y revolucionarios del siglo, en él detallaban la estructura del ácido desoxirribonucleico (ADN), fue por ello que se les concedió el galardón. Este estudio supuso todo un hito para la ciencia, en concreto para la biología y aquellas disciplinas relacionadas con la herencia; sin embargo, para poder construir la historia de todo este proceso, primeramente, debemos contextualizar y definir una serie de conceptos fundamentales.

3.1 Conceptos sobre herencia y ADN

Las tres grandes disciplinas científicas en las que ha ido recayendo principalmente esta historia del descubrimiento del ADN han sido: la genética, la bioquímica y la biología celular.

3.1.1 Genética

El término genética proviene de la palabra griega *guennetiko* que significa genetivo, esta proviene de génesis, es decir, origen. Se trata de una disciplina dentro de la propia biología, la cual tiene como objetivo principal el estudio de la herencia en los organismos vivos. Aunque la cuestión de la transmisión de caracteres ha sido un asunto estudiado y reflexionado desde siempre, no es hasta el siglo XX que la especialidad empieza a sistematizarse, podemos, entonces, afirmar que se constituye un campo de estudio único. Por lo tanto, la genética buscará explicar como se transmite la herencia biológica, y este contenido está estrechamente vinculado con el ADN.

3.1.2 Bioquímica

La unión de la biología y de la química originan la bioquímica. La intención primordial con la que se desarrolla esta ciencia moderna es describir y estudiar los procesos químicos de los organismos vivos, una de las cuestiones principales en la que siempre han trabajado los bioquímicos ha sido en la búsqueda de las bases químicas de la herencia. Por ello, será una ciencia muy relacionada con el ADN, debido a que estudian y trabajan con esta molécula directamente.

3.1.3 Biología celular

El estudio de la biología celular se remonta a los años treinta del siglo XIX; sin embargo, con el avance de las tecnologías durante todo el siglo XX y parte del XXI, ha sido cuando verdaderamente se ha progresado a pasos de gigante en esta área del conocimiento. Su objetivo principal es examinar la estructura de la célula y su función, y es que en ella, como ya desarrollaremos más adelante, encontramos el ADN. En consecuencia, el estudio de la biología celular ha proporcionado a las otras disciplinas información fundamental para el entendimiento del medio donde encontramos la molécula.

3.1.4 Célula

El término proviene de la palabra latina *cellula*, que es un diminutivo de *cella*, es decir, de celda. Se trata de la unidad fundamental de la vida, es el componente más pequeño considerado vivo.

Existen dos tipos de células: procariotas y eucariotas. Las primeras son las células de las arqueas y bacterias, en cambio, las eucariotas pertenecen a las células animales y vegetales y aquellas células de hongos y protistas.

La célula tiene diferentes estructuras, pero las que más nos interesan debido a nuestro trabajo de investigación son dos: el núcleo de la célula y las mitocondrias. En estas dos partes, podemos detectar ADN, en la primera en mayor cantidad que en la segunda. No obstante, una estructura clave del ADN son los cromosomas, y estos se encuentran en las células.

3.1.5 Cromosomas

Es una estructura conformada por proteínas y ADN. Cuando observamos la célula no encontraremos siempre este tipo de organización, sino que solo se produce cuando se lleva a cabo un proceso de mitosis o meiosis, que aunque tienen diferentes funciones, en ambos se producen nuevas células, la diferencia principal es que en la mitosis el número de cromosomas se mantienen igual, en la meiosis, en cambio, se divide a la mitad, ya que estas son las que participan en la reproducción sexual.

Por lo tanto, los cromosomas surgen de un proceso de condensación, que acaba generando la forma X, que es la típicamente reconocida cuando nos imaginamos el ADN. Cuando esto

ocurre observamos que se divide en diferentes partes, un punto más estrecho denominado centrómero, dos pares de secciones, una corta denominada p y otra larga denominada q , y los telómeros.

3.1.6 Cromatina

Se trata del conjunto de histonas, proteína no-histonas y el ADN que encontramos en las células eucariotas, lo cual acaba constituyendo el cromosoma cuando se condensa. Por lo tanto, es la forma en la que se presenta, en parte, el ADN en el núcleo de la célula.

3.1.7 Nucleosomas

La unidad básica de la cromatina es el nucleosoma, es el tipo de organización más básica. Formado por 146 pares de bases de ADN (unidad de longitud) asociados a un complejo específico de 8 histonas nucleosónicas.

3.1.8 ADN

El ácido desoxirribonucleico es un polímero, es decir, que posee un enlace covalente, formado por la unión de un glúcido, la desoxirribosa, una base nitrogenada y un grupo fosfato.

Podemos diferenciar los diferentes nucleótidos mediante las bases nitrogenadas, las cuales pueden ser: adenina, timina, citosina y guanina. Estas cuatro bases nitrogenadas codifican la cadena de ADN mediante la complementariedad de las bases: Adenina-Timina y Guanina-Citosina. Por lo tanto, el ADN es una doble cadena de nucleótidos unidos por los puentes de hidrógeno.

Por lo tanto, cuando exploremos la historia del descubrimiento del ADN siempre deberemos conectarla con el concepto herencia, ya que que lo más ha interesado a los científicos e investigadores de esta molécula es su participación en todo el entramado de la transmisión de los caracteres hereditarios.

3.2 La historia del descubrimiento del ADN

Hasta el año 1950 la comunidad científica acogía con cierto escepticismo que los genes estuvieran formados y compuestos de ácidos nucleicos, en el momento en el que Crick y Watson,

con la ayuda de Rosalind Franklin, presentan la estructura de esta molécula denominada ADN, los biólogos, genetistas y bioquímicos empiezan a ser conscientes de la magnitud del descubrimiento y lo que iba a revolucionar - aunque ya lo había hecho- su propio campo de estudio.

Sin embargo, sería una falacia afirmar que la historia del descubrimiento del ADN empieza en el siglo XX después de Watson y Crick, esta molécula ha sido de gran interés para muchos investigadores y científicos, debido a que se entendió, pues, que era la fuente de la información genética y que codificaba las instrucciones genéticas, es el “manual” químico y biológico para comprender la estructura de un ser vivo. Este supuesto manual será después el denominado “Proyecto del Genoma Humano” de 1990; sin embargo, no desarrollaremos hasta este punto la historia.

Pretendo redactar una historia desde el siglo XIX hasta la publicación en *Nature* del estudio de Watson y Crick. Si bien es cierto debemos considerar todas las aportaciones importantes, también cabe destacar que hay tres episodios que considero de mayor relevancia. Así, pues, me dispongo a trazar una historia repasando todas aquellas colaboraciones relevantes, pero ahondando en las más sustanciales¹, en concreto tres episodios: Mendel, el principio de transformación (en el que incluiremos a Griffith, pero también a Avery y colaboradores) y Watson y Crick.

3.2.1 Antes de Mendel

Gregor Johann Mendel (1822-1884) fue un fraile agustino del siglo XIX; sin embargo, su faceta como naturalista es la que más nos interesa, es considerado el padre de la genética. En la historia del ADN es influyente no porque experimentará directamente con la molécula, sino por la continuación de sus estudios durante el siglo XX, y el redescubrimiento de sus experimentos en el 1900 impulsará el estudio de la genética, la herencia, y, en consecuencia, del ADN.

No obstante, se debe plantear la siguiente cuestión: ¿Antes de Mendel existía algún tipo de idea, estudio, conceptualización, investigación... sobre la herencia?

¹ Entiéndase sustancial para el estudio que estamos desarrollando en este trabajo. Debemos considerar que todas las aportaciones científicas son relevantes en el estudio de la molécula. Sin embargo, hay episodios de la historia que nos pueden mostrar de una forma más clara lo que se pretende llevar a cabo en este trabajo, por ello, se han delimitado.

Según Jouve, cuando hacemos una revisión al concepto herencia encontramos las aportaciones relevantes de Aristóteles (1987, p.59) el cual “pensaba que animales y plantas no solamente nacían de organismos vivos semejantes a ellos, sino también a partir de materia en descomposición activada por el calor del Sol; el hombre mismo procedería de gusanos generados espontáneamente” (Guevara, 2004, p.12). Otros científicos del siglo XVI que contribuyeron a la noción de herencia fueron Ambroise Paré (1510-1590) o Ulisse Aldrovandi (1522-1605) (Jouve, 1987, p.59), en el siglo XVI. Sin embargo, en el marco de ideas que sostienen estos intelectuales hay una clara cuestión: el ser humano engendra, no se reproduce (p.59). Por lo tanto, las nociones de herencia que comprendemos en la actualidad no pueden implicarse como tal en esta concepción, porque la reproducción lleva en ella misma la transmisión de los caracteres, es decir, de padres a hijos, en cambio, engendrar es una acción sin tanto significado en este nivel. Además, que “Lo que distingue a los seres vivos de los no vivos es una interacción entre el calor innato, en el que intervienen de forma abstracta diversos elementos, y el alma impuesta por la divinidad”. (p.59). No es factible el desarrollo de la genética en estos marcos ideológicos y conceptuales de pensamiento.

En el siglo XVIII debemos destacar dos ilustrados franceses que son George Louis Leclerc (1707-1788) y Pierre Luis Moreau de Maupertuis (1698-1759), los cuales aplanaron el concepto de engendrar, y dotaron de total significación el de reproducirse, y, sobre todo, destacan el parecido entre padres e hijos. Para ello, adopta las leyes astronómicas de Newton y

supusieron que en el esperma existirían diminutas partículas elementales que procedentes del hígado, cabeza, corazón, brazos, etc., y sometidas a fuerzas parecidas a las de la gravitación, confluirían con las provenientes de las células huevo de la madre, y darían lugar al nuevo ser. (p.60)

Estos trabajos servirán para señalar el fenómeno de la herencia que la ciencia no había acabado de ahondar, debido a los inconvenientes y dificultades con las que se entendía y percibía el proceso.

La química también fue partícipe de estos pasos que se daban hacia el nacimiento de la genética, cabe destacar a uno de los grandes químicos del siglo XIX, Louis Pasteur (1822-1895), que además de sus grandes aportaciones en el campo de la química, fue

esencial su refutación de la hipótesis de la generación espontánea (p.60). Según el francés, la descomposición o la fermentación son fenómenos producidos por organismos vivos y el ojo humano no puede llegar a captarlos. Por lo tanto, la generación espontánea, entendida como el surgimiento de vida mediante materia orgánica o inorgánica, no era posible para Pasteur, ya que *Omne vivum ex vivo*, es decir, que todo ser vivo proviene, obligatoriamente, de otro ser vivo.

En consecuencia, si los ilustrados franceses habían proporcionado y perfeccionado la perspectiva de que los seres considerados desde la tradición “superiores” estaban conectados directamente a la reproducción y a la herencia, Pasteur, por otro lado, señalaba que no solo esos, sino que aquellos pequeños organismos también participan en los procesos de herencia y de lo hereditario.

En conclusión, los intelectuales de los siglos XVIII y XIX empezaron a moldear algunos conceptos sobre la herencia y la transmisión de caracteres; sin embargo, no generaron un cuerpo dogmático y sistematizado, sino que mediante sus investigaciones pudieron asentar nociones para que los estudios e investigaciones de las siguientes generaciones pudieran tener cabida en el marco teórico.

3.2.2 Gregor Mendel: el comienzo del camino

El fenómeno de la herencia para los científicos del siglo XIX, como ya hemos observado, no pasa desapercibido, a pesar de ello la figura clave fue la del fraile agustino Gregor Johann Mendel, su investigación destaca por dos motivos: 1) la manera como aborda el problema, la cual fue extraña para su momento, y 2) el recibimiento por parte de la comunidad científica de estos experimentos y sus correspondientes resultados (Rheinberger & Müller, 2017, p.237). Además, que Mendel desarrolla sus experimentos sin conocimiento de las bases materiales de la herencia, porque como señala Guillermo Guevara “para esa época no se habían identificado los cromosomas en el núcleo y por lo tanto no se tenía conocimiento de los fenómenos de división celular (mitosis y meiosis)” (2004, p.14).

En 1866 publica, bajo el título: *Versuche über Pflanzen-Hybriden*, su estudio sobre cruzamientos entre guisantes que cultivaba en su monasterio desde el 1856; sin embargo, no es la primera vez que Mendel había indicado algunas de sus conclusiones frente a sus colegas, sino que un año antes expuso en dos sesiones y un ensayo ante la Sociedad de

Ciencias Naturales de Brno esas experiencias realizadas entre el 1856 hasta el 1865, y los resultados correspondientes.

En ese momento el *mendelianismo* acabada de establecerse y el agustino había dejado escritas las bases de la disciplina de la genética, es decir, los fundamentos de la herencia, las cuales en la actualidad son esenciales para los estudios en esta área de la ciencia. Además, no solo fueron las conclusiones lo que estableció, sino también el sistema experimental con el que trabajo (Rheinberger & Müller, 2017, p.29) y el método predictivo de la herencia (Jouve, 1987, p.61) con el que los alumnos tanto de bachillerato como universitarios trabajan constantemente hoy en día. Empero, sus contemporáneos no prestaron suficiente atención a estas contribuciones propuestas por el religioso, existe una explicación lógica ante este acontecimiento, la cual desarrollaremos más adelante.

La diferencia entre los cruzamientos de Mendel con los de los otros naturalistas fue la propia peripecia del científico, ya que tomo conciencia de algunas relaciones numéricas que se estaban produciendo en relación con los guisantes:

entre todas las experiencias realizadas, ninguna fue llevada a cabo a una escala suficientemente grande y de manera lo bastante precisa como para permitir la determinación del número de las diferentes formas bajo las cuales aparecen los descendientes de los híbridos, ni clasificar estas formas con certidumbre según las generaciones sucesiva, o precisar sus relaciones estadísticas (Mendel según Jouve, 1987, p.63)

Estas relaciones numéricas que pudo observar fueron interpretadas por él.

Sería falsear la historia afirmar que Mendel fue el único en llevar a cabo cruzamientos de plantas o animales, otros naturalistas que practicaron cruzamientos como Sageret (1763-1851) o el botánico Kölreuter (1733-1806), entre otros. No obstante, sus análisis no eran correctos o tan precisos como los de Mendel (p.65). Cabe destacar al botánico francés Charles Naudin (1815-1899), que se acercó a las observaciones del fraile mediante los cruzamientos de tres plantas, *Datura*, *Linaria* y *Nicotiana*, pero “Le faltó a Naudin discernir la proporción numérica exacta en la disyunción de los híbridos, achacando la aparición de los tipos parentales a una variación desordenada” (p.65).

El planteamiento de Mendel no finaliza en las relaciones numéricas que establece, sino que señala la existencia de los diferentes caracteres, es decir, dominantes y recesivos, de las siete variaciones de los guisantes. Y concluyó que debía existir un mecanismo en el cual estos procesos que él estaba analizando estuvieran incluidos en todo el proceso de la genética.

En la actualidad hemos sistematizado las conclusiones de Mendel en tres leyes (p.63), aunque esto se trata de una pura formalidad, ya que el científico no las llegó a plantear nunca directamente así, son las siguientes:

1ª Ley de uniformidad: Los descendientes de la primera generación de un cruzamiento entre dos razas puras son todos idénticos, puesto que manifiestan los mismos caracteres y generan la misma descendencia.

2ª Ley de la segregación o disyunción: Los factores contrapuestos, que procedentes de cada línea pura parental han sido reunidos en el híbrido, se separan uno de otro cuando se forman los gametos de éste.

3ª Ley de la combinación al azar o de la independencia de los factores hereditarios: Los factores no antagónicos se transmiten independientemente los unos de los otros y se combinan de todas las maneras posibles.

Como hemos mencionado anteriormente, el *mendelianismo* no se vuelve a redescubrir hasta el 1900 mediante el botánico Hugo de Vries (1848-1935) (p.64) y los biólogos Karl Correns (1864-1933) (p.64) y Enrich Tschermak von Seysenegg (1871-1962) (p.18), y es que, según Guevara, “Fueron los conocimientos logrados en la citología los que permitieron entender la dimensión de los resultados obtenidos por Mendel y favorecieron el ambiente para su redescubrimiento” (2004, p.18). Por parte de la actual comunidad científica no hay cuestionamiento alguno sobre estos principios, pero en su momento, cuando Mendel expuso sus estudios, no tuvo ningún tipo de reconocimiento, la recepción *sorprendentemente* (para nosotros) fue austera. Según Rheinberger y Müller, el filósofo Michel Foucault teorizó sobre este hecho, y mencionó lo siguiente:

It was precisely because Mendel spoke of objects, employed methods and placed himself within a theoretical perspective totally alien to the biology of his time...

Mendel spoke the truth, but he was not *dans le vrai* (within the true) of contemporary biological discourse. (p.24)

Aunque las conclusiones de Mendel nos parezcan revolucionarias para su momento, sorprende como después de esa publicación en el 1866 en el Boletín de la Sociedad de Ciencias Naturales de Brno, no tuvo repercusión, ni tampoco el mismo científico la busco. Para comprender este momento debemos observar los demás estudios que se estaban desarrollando, entonces, advertimos que las preocupaciones del fraile en el ámbito de la investigación estaban más próximas a sus contemporáneos, y en ese momento la ocupación estaba relacionada con el papel de los híbridos en la evolución (p.24), esto queda reflejado en los estudios de Carl Friedrich Gärtner (p.26). Cabe destacar que el propio Mendel en su investigación lo cita, esto es un claro síntoma que su objeto de investigación estaba directamente guiado hacia los estudios de Gärtner, y no hacía esos nuevos descubrimientos que estaba haciendo.

Por lo tanto, no fue que el fraile no era consciente de sus descubrimientos, él creía haber encontrado esas relaciones numéricas, pero en su momento el *quid* de la cuestión no estaba en ese foco. Es decir, incluso en los estudios del propio científico nada hace pensar que él esperaba un cambio radical en la concepción científica de la herencia mediante sus estudios (p.26). Sin embargo, cabe destacar que intentó reproducir los mismos experimentos, pero con abejas para así poder universalizar el resultado, por ello, “Ese intento nos podría sugerir lo convencido que estaba de la existencia de sus recién descubiertos “factores” de la herencia” (Guevara, 2004, p.14).

Por ello, no es de extrañar que términos como: gen, genotipo, fenotipo..., que eran nociones con las que él estaba trabajando estrechamente, no fueron nombrados así hasta 1909 por el genetista Wilhelm Johannsen (p.19). La palabra genes proviene del latín *genus*, sería lo que Mendel determinó como “factores” (p.19). Y el científico propuso el término genotipo como “la suma total de los “genes” en un gameto o un cigoto” (p.19). Incluso la propia denominación de la disciplina, es decir, genética, no fue nunca dada ni utilizada por Mendel, sino que fue William Bateson en el 1906, en la Tercera Conferencia sobre Hibridación el que propuso esta palabra la cual

indica suficientemente que nuestro trabajo está dedicado a la aclaración del fenómeno de la herencia y variación: en otras palabras, a la fisiología de la descendencia, lo cual significa tener relación con los problemas teóricos de los evolucionistas y sistemáticos y aplicaciones a los problemas prácticos de los criadores de plantas o animales. (Bateson según Guevara, 2004, p.19)

Pero la contribución del agustino fue la precursora de todos estos términos. Por lo tanto, la aportación de este gran científico fue esencial en estos primeros pasos de la disciplina.

Es interesante porque en este punto de la historia de lo que será la genética, colisiona otra de las grandes investigaciones del siglo XIX, en 1876 Charles Darwin (1809-1882) escribía en la segunda edición de su obra magna, según Jouve (1987), *El origen de las especies*, lo siguiente:

“Las leyes de la herencia son en su mayoría desconocidas. Nadie sabe por qué la misma particularidad a veces se transmite y a veces no, y por qué el niño se parece a veces a su abuelo, a veces a su abuela e incluso a un antepasado” (p.66).

Darwin, sin saberlo, estaba errando con esta afirmación, ya que Mendel desde 1866, es decir, diez años antes, ya tenía respuesta para las cuestiones sobre la herencia, “Mendel (ironías de la Historia) fue el sacerdote que tuvo en sus manos la llave maestra para explicar la evolución de los seres vivos a través de la selección natural” (Guevara, 2004, p.15), las cuales Darwin nunca pudo acabar de resolver en sus estudios. Ambos científicos eran contemporáneos, no se sabemos hasta qué punto Mendel podía ser darwinista, será una incógnita para la ciencia que quedará sin resolver (p.15).

3.2.3 Miescher a la par que Mendel

El pionero de la microbiología, Johann Friedrich Miescher (1844-1895) dedicó una parte de su estudio a analizar a nivel químico el pus, aunque no pudo desarrollar su investigación en profundidad, concluye en el 1869 que en la célula se encuentra algún tipo de sustancia que contiene fósforo y es ácida, y repetía los experimentos y siempre encontraba el mismo tipo de sustancia (p.17). El científico la denominó como nucleína, en la actualidad sería el

ADN y proteína; sin embargo, debido a eventualidades, esta acabó siendo nombrada como ácido nucleico.

Empero cabe destacar que “nunca sospechó que esa sustancia estuviera ligada a los procesos de la herencia y la fecundación, incluso llegó a negar su participación en esos fenómenos; para esos efectos prefería a las proteínas, moléculas más adecuadas para explicar la gran diversidad en el mundo vivo, explicación favorecida por los biólogos de la época” (p.18). Por lo tanto, Miescher nunca sostuvo la hipótesis de la herencia y la nucleína, pero ciertamente había dado con lo que contenían los núcleos.

Pero no fue el único que investigó a fondo los núcleos celulares, William Sutton (1877-1916), en 1902, es decir, una vez ya se redescubrieron los resultados de Mendel, planteó lo siguiente:

cada par de cromosomas que se apareaban durante el proceso de meiosis, uno debería ser de origen paterno y el otro de origen materno, aunque ambos se habían copiado por mitosis innumerables veces a partir del óvulo fecundado del que procedía el organismo (p.19)

Por lo tanto, los genes estaban siendo relacionados directamente con los cromosomas, pero como nos demuestra el caso de Miescher, la creencia compartida es que la herencia estaba conectada con las proteínas, y los ácidos nucleicos eran una mero soporte para estas proteínas; sin embargo, la comunidad científica de ese momento ya tenía un acuerdo sobre donde se situaba el “soporte” de la herencia y era en el núcleo de la célula. Esto es de vital importancia para la dirección de las investigaciones posteriores.

3.2.4 Finales del siglo XIX

Será en esta época, finales del siglo XIX, donde se afirma, pues, que “el núcleo es la base física de la herencia” (Pierce, 2015, p.279). En 1880 ya se había investigado suficiente sobre los procesos de mitosis, además que el zoólogo alemán Oscar Hertwig (1849-1922) y el padre de la citología moderna Hermann Fol (1845-1892) habían podido observar la cuestión de la fecundación (Guevara, 2004, p.20).

Por lo tanto, es un momento fundamental para el avance de estos estudios relacionados con el ADN, los biólogos e investigadores relacionados con la biología tienen en el punto de mira todas estas estructuras como son los cromosomas, adicionalmente Edward Zacharias en 1881 verifica que en estas estructuras se podía encontrar la sustancia descrita por Miescher (p.20). No obstante, como se ha mencionado anteriormente, la tesis en ese momento estaba en que la herencia se relacionaba con las proteínas. Así, pues, cuando Hertwig en 1884 afirma que “la nucleína no sólo es la sustancia responsable de la fecundación, sino también de la transmisión de las características hereditarias” (según Guevara, 2004, p.20), no se le da ningún tipo de importancia o valor como tal a la enunciación.

3.2.5 Un momento para la química

Ciertamente, los científicos relacionados principalmente con la biología han sido los principales guías de la investigación sobre la herencia y el ADN. No obstante, se debe resaltar que se trata de una molécula química, por ello la disciplina de la química ha trabajado muy estrechamente con la biología para poder desarrollar un discurso sobre la estructura de esta molécula y sus reacciones, ergo ha sido partícipe del descubrimiento y del avance de este.

En la década de los 80 del siglo XIX, el químico Albrecht Kossel (1853-1927) determina la existencia de cuatro bases nitrogenadas en la estructura de la molécula, las cuales son: adenina, citosina, guanina y timina (Pierce, 2015, p.279).

Por lo tanto, los químicos del nuevo siglo XX habían podido detectar e investigar los diferentes componentes de los ácidos nucleicos. Afirmaron la existencia de dos pentosas, para el ADN la desoxirribosa, en el 1920, y para el ARN la ribosa, y, como se ha mencionado anteriormente, las cuatro diferentes bases nitrogenadas, pero distinguiéndolas en dos grupos, aquellas de dos anillos, la purina, que eran la adenina y la guanina, y la de un anillo, las pirimidinas, que son: uracilo, timina y citosina (Guevara, 2004, p.20). Finalmente, la molécula también posee un grupo fosfato, que ya había sido detectado por Miescher. De la unión de un fosfato con un azúcar y una base nitrogenada se obtiene la estructura básica y fundamental de los ácidos nucleicos, es decir, obtenemos un nucleótido.

3.2.6 El Rockefeller y la teoría del tetranucleótido

Después del redescubrimiento de Mendel en 1902, las investigaciones avanzan, el Insitute Rockefeller de Investigaciones Médicas en Nueva York se establecía como un punto neurálgico sobre las investigaciones relacionadas con los ácidos nucleicos. En 1905 Phoebus Levene (1869-1940) se une al Rockefeller Institute y dedica toda su investigación al estudio de la química del ADN. En 1920 comprueba la existencia de la desoxirribosa para el ADN, y en 1929 es capaz de distinguir y determinar la existencia del ADN y ARN, y afirmar que este primer ácido nucleico se encontraba en las estructuras denominadas cromosomas (p.20). Por lo tanto, la contribución que tanto este científico como la institución llevan a cabo es muy prolífera.

Entonces, Levene afirma que el ADN consiste en la secuencia fija de cuatro nucleótidos, es decir, lo que cambia es la base nitrogenada,

consideraba que las cuatro bases nitrogenadas se hallaban en proporciones exactamente iguales y propuso para el ADN la hipótesis del tetranucleótido: este ácido nucleico sería una cadena molecular formada por la repetición de subunidades (pirimidina-purina, purina-pirimidina) unidas a un grupo fosfato. (p.20-21)

La consecuencia de esta teoría del tetranucleótido lleva a reafirmar la asignación que ya se había hecho en un pasado sobre la función de las proteínas en el proceso de la herencia, y es que la función real del ADN estaba para estos científicos en las macromoléculas debido a que estas proporcionaban una mayor diversidad y complejidad bioquímica. Por lo tanto, la hipótesis sobre las proteínas era la más lógica para los investigadores. Esta visión fue sostenida hasta la década de los 40 y es que

El peso específico de la teoría proteínica en el papel de la herencia era muy grande en la mente de los científicos y a pesar de las pruebas que se iban acumulando a favor del ADN, no había aparecido aún una con la contundencia necesaria para abatir a las proteínas de su sitial. (p.21)

3.2.7 El principio de transformación: un paso más hacia el descubrimiento

El Rockefeller Institute marcó el camino para seguir estudiando la herencia y las moléculas que parecían estar en mayor o menor medida relacionadas con los caracteres. Sin embargo, hay que destacar el importante y vital aporte del médico Frederick Griffith (1879-1941) con su famoso “experimento Griffith”, el cual demostraría lo que él mismo denominó como principio de transformación. Esta fue una de las contribuciones más contundentes respecto a la relación entre el ADN y la información hereditaria.

El científico trabajaba con los neumococos, aquellas bacterias que provocan la neumonía, buscaba encontrar un tratamiento efectivo para la enfermedad. En 1923 es capaz de distinguir dos tipos de cepas con dos formas diferentes, una con forma rugosa R y otra con formas lisas S. Estas segundas tienen una cápsula de polisacáridos que hacen ser a las bacterias virulentas, en cambio, la cepa R, al no poseerla, no es virulenta.

Para el experimento, Griffith utilizó estas dos cepas y las inyectó en ratones, pero a la cepa con cápsula le hizo un tratamiento de calor para matarlas, el científico sabía que la ebullición mataba las bacterias y las despojaba de la virulencia (Pierce, 2015, p.280). El resultado de esta infección no fue para nada sorprendente. No obstante, el punto interesante del experimento fue cuando infectó a otros ratones con una mezcla de la cepa no virulenta con la virulenta, también tratada con calor. Observó, pues, que “los ratones morían por la neumonía y sus tejidos rebosaban de neumococos vivos y con cápsula, es decir, virulentos” (Guevara, 2004, p.22).

En conclusión, parecía ser que “Las bacterias R de alguna manera recibieron las instrucciones necesarias para “aprender” a producir la cápsula y transmitir la virulencia a su descendencia” (p.22). El científico, aunque no pudo acabar de concluir la esencia de la transformación, creyó que estaba intrínsecamente relacionado con alguna sustancia de la bacteria. Esto lo denominó como principio de transformación.

Puede sorprendernos este episodio y pensar que poco tiene que ver con el descubrimiento del ADN como portador de la información hereditaria; sin embargo, algunos microbiólogos contemporáneos al médico se interesaron por la propuesta de este, y vieron la conexión que esto podía y tenía con la genética.

Cabe destacar que este principio de transformación fue estudiado por diferentes científicos durante el siglo XX, algunos de ellos del Rockefeller Institute de Nueva York, en

1931 Martin Dawson mostró este principio en un tubo de ensayo, *in vitro*, incluso James Albwey mediante un proceso de centrifugación pudo reproducir la transformación observada por Griffith, pero utilizó un nuevo término para denominarla: *factor transformante S* (p.22-23).

3.2.8 Otro avance del principio de transformación

Oswald T.Avery (1877-1955) era un médico bacteriólogo, el cual estuvo realizando sus investigaciones en el Hospital del Rockefeller Institute. Avery es de vital importancia para la bacteriología porque estudió y contribuyó “en el desarrollo de la inmunología bacteriológica del neumococo” (Mayo, 2014, p.15). Es decir, estuvo en contacto directo con la misma bacteria con la que Griffith había trabajado en el 1928, por ello, no es sorprendente que acabe implicado en la evolución del estudio del principio de transformación.

En 1944 Avery, McLeod (1909-1972) y McCarty (1911-2005) publican un artículo en el que su propósito principal y esencial es el siguiente: “ofrecer una demostración químicogenética del principio de transformación” (Mayo, 2014, p.23), para llevar a cabo este experimento debían “aislar la sustancia responsable de la transformación a partir de extractos crudos bacterianos e identificar su naturaleza química” (p.23).

Consiguen aislar y purificar dicha sustancia, lo interesante es cuando la observan, pues, a nivel químico es más parecida y compatible con el ADN que las proteínas. Recordemos, pues, que la comunidad había establecido que era más lógico pensar que las proteínas contenían la información hereditaria.

Algunas de las observaciones que reafirmaron este desajuste sobre las proteínas e hicieron entender a Avery, McLeod y McCarty que estaban en lo correcto, fue que algunas enzimas que ejercían efecto sobre las proteínas, como era el caso de la tripsina o la quimotripsina, no producían ningún tipo de reacción en la sustancia, pero, además, se utiliza otra enzima denominada como ribonucleasa, la cual actuaba cuando estaba en presencia del ARN, y esta tampoco tuvo ningún tipo de efecto. Lo curioso fue cuando algunas enzimas que responden con ADN “eliminaron la actividad biológica de la sustancia de transformación” (Pierce, 2015, p.281).

La conclusión final del artículo publicado en 1944 es clara: “The evidence presented supports the belief that a nucleic acid of the desoxyribose type (ADN) is the fundamental

unit of the transforming principle of Pneumococcus Type III” (Avery, McLeod & McCarty, 1944, p.156). Por lo tanto, el principio de transformación descrito y observado por Griffith residía en el ADN.

Sin embargo, los biólogos y genetistas siguieron sosteniendo la teoría de la proteína, aunque las pruebas eran claras. De esta forma el estudio de Avery y colaboradores pasó desapercibido para la comunidad científica (Mayo, 2015, p.26).

3.2.9 Chargaff continúa explorando el resultado de Avery, McLeod y McCarty

Como se ha mencionado anteriormente, los resultados del artículo publicado en 1944 pasaron bastante inadvertidos; sin embargo, un bioquímico llamado Erwin Chargaff (1905-2002), el cual era profesor e investigador en la Universidad de Columbia, sí que mostró interés en lo que se expuso por parte de Avery, McLeod y McCarty.

En 1949 el científico junto a su equipo mediante un experimento expusieron que

la composición de bases nitrogenadas del ácido nucleico varía de una especie a otra y demostraron que en la molécula existía una regularidad sencilla y elegante, con carácter universal: la cantidad total de purina (A+G) del ADN, siempre es igual a la de pirimidinas (C+T). (Guevera, 2004, p.24).

Eran las denominadas proporciones de Chargaff.

Por lo tanto, la hipótesis del tetranucleótido de Levene, el cual concluía que la molécula del ADN era “simple e invariable” (Pierce, 2015, p.279), se transformó gracias a Chargaff, debido a que ya no se podía entender este ácido nucleico como sencillo.

3.2.10 ¿El experimento definitivo?

En la década de los 50 era cada vez más evidente que el material hereditario estaba más relacionado con el ADN que con las proteínas. No obstante, el golpe de gracia para acabar de desechar la teoría proteica fue hecho por dos científicos: Alfred Hershey (1908-2003) y Martha Chase (1927-2003).

Propusieron un experimento muy interesante, se basaba en “cultivar bacteriófagos en un medio que contuviera isótopos radiactivos de fósforo y azufre y determinar su destino final. El fósforo radiactivo marcaba al ADN y los de azufre lo hacían con las proteínas del

bacteriófago” (Guevara, 2004, p.25). Por lo tanto, aquel componente que entrara en las bacterias sería el material genético, ya que sería el que se reproduciría. Finalmente, concluyeron que lo que se transmitía era el ADN radiactivo. Así pues, el ADN era el material genético de los bacteriófagos.

Como señala Guillermo Guevera Pardo en su artículo:

En 1952 el experimento de Hershey y Chase demostraba de manera irrefutable que el ADN era la molécula portadora de la información genética, la base material de la herencia. Aquella anodina nucleína que asilara Miescher finalizando el siglo XIX, al comenzar la segunda mitad del XX, sería rutilante estrella a la que algunos científicos dedicaron su empeño por llegar a lo más íntimo de su estructura. (p.26)

Por consiguiente, a partir de este momento la teoría de las proteínas quedaba fuera de la discusión, y el ADN se convertía en la molécula que todos los genetistas y biólogos querían estudiar para poder aprender y desentrañar todos los misterios sobre la herencia y los procesos de esta.

3.2.11 La estructura final

Después de las conclusiones de Hershey y Chase la comunidad científica ya no poseía suficientes argumentos para defender la antigua hipótesis. Podríamos, entonces, finalizar nuestra historia del descubrimiento del ADN, o mejor dicho de la asimilación del ADN como molécula portadora de la información genética. Sin embargo, el ADN también es estructura y, aunque ya se había comprendido su función, faltaba encontrar la configuración de la molécula. Por ello, he alargado un acontecimiento más sobre este descubrimiento. Además, que en parte la estructura tridimensional fue la prueba definitiva para establecer el consenso sobre el ácido nucleico dentro de la comunidad científica.

El descubrimiento de James Watson y Francis Crick, junto con Rosalind Franklin (1920-1958) y Maurice Wilkins (1916-2004), no podría haber sucedido sin los episodios que hemos ido narrando durante este apartado, además de la contribución de William Ashbury en 1947, cuando comenzó a estudiar la estructura del ácido nucleico a través de la difracción de rayos X (Pierce, 2015, p.283).

Wilkins junto a un equipo de investigación en el King's College de Londres obtienen alguna imagen de mejor calidad del ADN mediante la técnica de Ashbury, pero no es suficiente; la

llegada de Rosalind Franklin a este equipo es de vital importancia, ya que mejora sustancialmente las imágenes conseguidas por el equipo de Wilkins, pero debido a las discrepancias entre los científicos dejan de colaborar y de perfeccionar las imágenes del ADN que estaban obteniendo. Además, debemos señalar que la investigadora estuvo muy cerca del descubrimiento, “en febrero de 1953 había escrito en sus notas de trabajo que el ADN tenía una estructura de dos cadenas, con los grupos fosfatos orientados hacia fuera” (Guevara, 2004, p.29).

En este punto de la historia es cuando Watson y Crick comienzan a barajar cuáles podrían ser las estructuras posibles del ADN. Debemos entender, pues, que en este proceso ambos investigadores habían interiorizado toda aquella información que otros científicos habían descubierto, además, ambos habían podido obtener las imágenes de Franklin mediante Wilkins². La teoría de Chargaff, por ejemplo, fue clave para que Watson entendiera que “una base adenina podía unirse con una base timina y que una base guanina podría unirse con una base citosina” (Pierce, 2015, p.284).

Por lo tanto, el modelo basado en toda la información que pudieron acopiar junto con la ingeniosa idea de hacer maquetas para visualizarlo de una manera más plástica, llevaron a los investigadores a entender, pues, que el ADN consistía en “dos cadenas de nucleótidos que corren en direcciones opuestas (son antiparalelas) y que se enrollan entre sí para formar una hélice dextrógira, con los azúcares y los fosfatos en el exterior, y las bases en el interior” (p.284).

Esta propuesta de estructura molecular fue publicada el 25 de abril de 1953 en un artículo en la revista *Nature*, con el siguiente título: *Molecular Structure of Nucleic Acids* (Watson & Crick, 1953). Sin embargo, no solo publicaron el artículo de Watson y Crick, sino que en ese mismo número hubo dos artículos más, los cuales mostraban los datos experimentales que se habían ido recabando, y daban fundamento al de los investigadores. El primero fue el de Wilkins, Alec Stokes (1919-2002) y Herbert Wilson (1929-2008), titulado: *Molecular Structure of Deoxypentose Nucleic Acids* (1953). Y el segundo fue de Franklin con Raymond Gosling (1926-2015): *Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate* (1953).

² Existe toda una polémica alrededor de este traspaso de información que hizo Wilkins sin el consentimiento de Rosalind Franklin. Si se quiere profundizar en esta cuestión el artículo escrito por Guillermo Guevara (2014) titulado: *ADN: historia de un éxito científico*, profundiza en ello.

Me he planteado la siguiente cuestión: ¿Cómo fueron acogidos estos tres artículos por parte de la comunidad científica? Lo cierto es que al principio no fue de gran interés, pero cuando en 1958 dos investigadores, Matthew Melseson (1930) y Franklin Stahl (1929) muestran una evidencia sobre “la naturaleza semiconservativa de la replicación de la molécula del ADN” (Guevara, 2004, p.37), mediante la concepción estructural propuesta en el 1953, comienzan, pues, a recibir la atención por parte del resto de colegas.

No obstante, no es hasta el año 1962 que Crick, Watson y Wilkins reciben el Premio Nobel Fisiología y Medicina. Rosalind Franklin no fue galardonada debido a que falleció en el 1958; sin embargo, sin el trabajo de la investigadora no hubiera sido posible este hito, y la comunidad científica reconoce este hecho.

4. Reflexiones y cuestiones en torno a la historia del descubrimiento del ADN y la teoría paradigmática de Kuhn

En este tercer y último apartado se pretende poner en práctica algunas de las cuestiones planteadas por Kuhn en su libro *La estructura de las revoluciones científicas*, el cual ya ha sido expuesto y sintetizado en el segundo apartado, en relación con esta historia del descubrimiento del ADN que hemos ido mostrando. Por ello, esta parte del trabajo se va a dividir en siete partes, las cuales son reflexiones que se pueden extraer de esta lectura parcial del descubrimiento del ADN a través de la teoría filosófica de Thomas Kuhn.

No obstante, debemos destacar primeramente unas cuantas cuestiones y reflexiones que están estrechamente conectadas con las ideas de Kuhn; sin embargo, atienden a aspectos en la línea estructural o teórica propia del trabajo, y es importante dejarlos enmarcados y reflejados, para así poder comprender un poco más algunas disposiciones que se desarrollarán seguidamente.

4.1 Entendimiento y visión de la ciencia

Cuando trabajas con un pensamiento tan innovador como el de Kuhn, en el cual la concepción sobre ciencia es totalmente diferente a la imperante en su momento- y *en la actualidad*-, es innegable que mi propia perspectiva sobre la ciencia, aunque haya intentado ofrecer siempre una visión objetiva y neutra sobre la cuestión, haya intervenido. Fui consciente de este aspecto cuando estaba sintetizando el libro de Kuhn y llegué al concepto de descubrimiento. El filósofo señala que el descubrimiento no es un “acto único y simple” (Kuhn, 1981, p.97) como normalmente suponemos, sino que hay todo un proceso hasta que se toma conciencia que se está frente a un descubrimiento.

Probablemente, mi visión sobre el descubrimiento respecto a este hecho sea correcta, debido, pues, que si hubiera pensado el descubrimiento del ADN como único y simple, solo hubiera destacado uno o dos episodios, sobre todo el de Watson y Crick. Sin embargo, mi propuesta ha ido mucho más allá, ya que empieza desde Miescher/Mendel y finaliza en los artículos de 1953. Pero cabe destacar que el planteamiento del descubrimiento está hecho mediante la perspectiva de la acumulación. Por lo tanto, para Kuhn esto no supondría un descubrimiento como tal, sino un estado de ciencia normal que avanza mediante almacenamiento de datos. El descubrimiento suele suponer un acontecimiento que puede abocar a un momento de ciencia extraordinaria, es decir, que dos paradigmas entren en competencia.

Por ello, considero importante destacar que mi concepción científica acumulativa ha estado presente en el trabajo, ya no solo cuando se escribía sino, también, cuando se estructuraba y planteaba.

Así pues, hay algunos conceptos que utilizo, sobre todo en el momento de narrar la historia del descubrimiento, que son muy cercanos a Kuhn, debido a su influencia en la actualidad. No obstante, para otras cuestiones que plantea el filósofo, mi concepción sobre la ciencia está bastante alejada de estos esquemas kuhnianos. Por lo tanto, cuando desarrollamos un trabajo así, lo ideal es estar en un horizonte conceptual y de ideas lo más neutro posible; sin embargo, como el propio Kuhn nos haría entrever, los paradigmas que portamos como sociedad hacen que nuestra perspectiva sea moldeada.

4.2 Investigaciones sin relación, estudios fortuitos

Una vez acabe de desarrollar la historia del ADN, puede visualizar un aspecto muy interesante y peculiar, y es que ha sido una molécula poco estudiada por ella misma. Los estudios siempre han estado directamente relacionados con la información hereditaria, y se la ha estudiado por eso mismo, por ser la portadora de la información genética.

En la mayoría de episodios descritos el esfuerzo que hacían los científicos no era por entender el ácido por el mismo, sino averiguar cómo funcionaba el mecanismo de la herencia y que protagonistas estaban implicados en él. Por lo tanto, la mayor parte del estudio del ADN ha sido por “azar”, en el sentido que no era la preocupación principal de los investigadores, ya que casi hasta la mitad del siglo XX las proteínas tenían el papel fundamental como portadoras de la información hereditaria, y los científicos dirigieron los estudios hacia esa dirección en concreto.

Podemos distinguir diferentes momentos del estudio, un primero en el cual el ADN no tiene importancia como tal, sino que lo esencial para los investigadores es la herencia y el sistema de esta, estudios como los de Mendel, Hertiwg, Kossel o Levene cumplen parte de este patrón. Aunque están, también, estrechamente ligados con la búsqueda de la molécula, no en concreto el ADN, pero no tienen intención de ello como tal.

Otro tipo de investigaciones que han acabado topándose con esta molécula, pero no a propósito, han sido las relacionadas, sobre todo, con la medicina, científicos como Griffith no estaban estudiando como tal la herencia, sino que buscaba un tratamiento para una enfermedad como era la neumonía, o, incluso, Avery cuando trabajo en el área de inmunología del neumococo. Sin embargo, ambos acabaron totalmente enfrascados en la cuestión de la herencia, y, sobre todo, se acercaron al ácido considerablemente.

Por lo tanto, todas estas investigaciones en cierta forma su trabajo con el ADN fue “fortuito”, no tenían en su esquema mental esta molécula. Es decir, se trabajaba con ella de una manera orgánica, pero sin prestarle la atención requerida. Cabe destacar que el paradigma de las proteínas fue implantado muy fuertemente en la mentalidad científica de la época, por ello, estas macromoléculas recibieron toda la atención y los esfuerzos de la comunidad científica.

Después de Avery y colaboradores, podemos entender, pues, que el ácido desoxirribonucleico adquiere importancia por el mismo, sobre todo para aquellos investigadores como Chargaff, Hershey, Chase, Watson, Crick... que siguen en la línea de las ideas del artículo publicado en 1944. Por lo tanto, el estudio del ADN ya no es fortuito, sino que la molécula adquiere interés propio, y el objetivo de las investigaciones es el de revelar ya sea la estructura, el funcionamiento, las reacciones... del ADN, por el valor que adquiere el mismo.

En este descubrimiento del ADN hay episodios que parece que nada tienen que ver con lo que se está intentando mostrar; sin embargo, todos ellos han contribuido en mayor o menor medida a explicar como en el 1953 Watson y Crick consiguen desenmascarar la estructura. Es complicado poder diferenciar entre aquellas investigaciones que han tenido un valor real en la investigación del descubrimiento, sobre todo aquellas que no han podido ver o nombrar la molécula, pero es importante ser conscientes que parece ser que este descubrimiento ha sido una carrera de resistencia, desde el siglo XIX hasta la mitad del siglo XX.

En consecuencia, observamos, pues, que en los diferentes episodios narrados se muestra la investigación o bien como estudio relacionada con los mecanismos de la herencia o bien como un estudio fortuito de la molécula o, finalmente, como una exploración del ácido como tal.

4.3 Física y química en Kuhn. ¿Pero qué sucede cuando hablamos de biología?

Los ejemplos que se nos ofrecen constantemente en el libro de Kuhn suelen estar relacionados con la física, y en algunos casos con la química. Esto se debe a que Thomas Kuhn no solo era historiador y filósofo de la ciencia, sino que también era físico, es decir, era su disciplina de investigación. Por ello, los modelos que ofrece son tan ingeniosos e inteligentes, debido a que el estadounidense nos estaba proponiendo aquello que él más conocía.

No obstante, ¿cuándo proponemos una historia que tiene poco o nada que ver con la física, podrían cambiar los modelos propuestos por Kuhn?

No vamos a desarrollar en este apartado esta cuestión; sin embargo, quiero aclarar que el filósofo genera todo su modelo casi siempre basándose en la física, y en algunos casos en la química. Por lo tanto, cuando desarrollamos nuestro discurso en el lenguaje de la biología, la bioquímica, la genética, la bacteriología... estamos abordando nuevas cuestiones, y pueden no darse como tal los modelos exactos señalados por Kuhn, pueden existir matices. Esto se debe a que son esquemas muy cosmogónicos sobre todo aquellos relacionados con la física.

Sostengo, pues, que esta es una cuestión importante, porque, aunque el método científico se considera que es unificado para todas las disciplinas científicas, el desarrollo de las ciencias no se ha dado ni de la misma manera, ni en la misma época, ni con los mismos condicionantes. Es decir, debemos comprender que las investigaciones en los diferentes campos de estudios han podido estar en ocasiones a la par, pero en otros momentos han sido totalmente diferentes el entendimiento del avance científico en las diferentes áreas del conocimiento.

4.4 Acumulación de ideas y descubrimientos.

Nuestra manera de ver y entender la ciencia generalmente siempre ha sido muy concreta, sobre todo desde que la Revolución Industrial y la palabra progreso aparecieron en nuestra concepción y comprensión del mundo que nos rodea. La ciencia ha sido una empresa marcada por la idea del avance, el ir ampliando conocimientos, es decir, la acumulación. En general, nadie dirá que los intelectuales y eruditos del siglo XII conocían mejor las leyes del universo que los científicos actuales, o que Descartes (1596-1650) sabía más del cerebro que los neurólogos del siglo XXI.

Por lo tanto, nuestra creencia compartida y global es que la ciencia avanza, progresa, y normalmente lo hace hacia el perfeccionamiento de los conocimientos. Por ello, entendemos que la acumulación de conocimiento es la manera como históricamente se ha ido dando, y así es como han avanzado las diferentes disciplinas científicas.

Sin embargo, como ya se ha mencionado, Kuhn en el siglo XX pone en duda esta manera de entender el avance. Será uno de los grandes temas que la comunidad científica deberá enfrentar, cuando escribe “quizá la ciencia no se desarrolla por medio de la acumulación de descubrimientos e inventos individuales” (p.22), está poniendo en un compromiso enorme a los científicos del siglo pasado, además que el mismo ofrece ejemplos de como la acumulación no es lo único que la ciencia ha utilizado en el transcurso de su propia historia.

Si observamos, pues, el planteamiento de la historia del descubrimiento del ADN formulado en el anterior apartado, la mayoría de episodios se producen por acumulación. Un ejemplo de ellos es el caso de Miescher y Zacharias, este segundo científico en 1881 detecta que en los cromosomas está la sustancia descrita por el microbiólogo, si Zacharias no hubiera poseído esa información muy probablemente no hubiera podido identificar ese componente, o bien no lo hubiera hecho con tanta facilidad. Es decir, la investigación sobre el pus desarrollada por Miescher ayuda tiempo después, en concreto doce años, a comprender mejor la estructura del cromosoma.

Otro claro ejemplo es el de Chargaff, después de que Avery, McLeod y McCarty publicaran su artículo en el 1944 casi ningún científico le otorga importancia o valor a lo que este equipo de investigación había descubierto, aunque, ciertamente, estaban ante la clave para comprender la herencia definitivamente. Pero Chargaff mostró interés en la propuesta, y, en parte, gracias a esta investigación anterior, en el 1949 propone las proporciones Chargaff. Por lo tanto, se trata de una investigación esencial respecto al ADN, porque, entre otras cuestiones, desacreditó parte de la teoría de las proteínas y la teoría sugerida por Levene.

Además, tanto el experimento de Avery y colaboradores junto con las proporciones del Chargaff, Hershey y Chase pudieron desarrollar un experimento que demostró sin ningún tipo de duda que el ADN era portador de la información genética. No obstante, es importante para llegar al punto de Hershey y Chase todas las otras investigaciones que ya se habían desarrollado.

Estos solo son un par de ejemplos que muestran que la acumulación de experiencias, datos, conocimientos, experimentos... ha sido vital para el avance de estudios posteriores. Por lo tanto, podemos afirmar que hay un proceso de acumulación en cierta forma; sin embargo, creo que debemos proceder a matizar esta conclusión.

4.5 ¿Será un caso de ciencia normal?

Después de observar que hay acumulación de conocimientos en el avance del descubrimiento del ADN, podemos de nuevo acudir a la filosofía kuhniana, ya que el filósofo señala que la acumulación no es incompatible con su teoría, aunque a primera lectura sí que pueda parecerlo.

En los períodos de ciencia normal se produce acumulación de conocimientos (p.155), también en momentos paradigáticos, pero este no es el caso que estamos analizando.

Las dos definiciones sobre ciencia normal que se han sintetizado en el primer apartado pueden darnos la clave para comprender este fenómeno:

- 1) “tentativa tenaz y ferviente de obligar a la naturaleza a entrar en los cuadros conceptuales proporcionados por la educación profesional” (p.26)
- 2) “significa investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas pasadas, realizaciones que alguna comunidad científica particular reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento para su práctica posterior” (p.33)

Por lo tanto, es la ciencia que se practica ordinariamente y la mayor parte del tiempo en una disciplina. Entonces, la ciencia extraordinaria, la cual es “la proliferación de articulaciones en competencia, la disposición para ensayarlo todo, la expresión del descontento explícito, el recurso a la filosofía y el debate sobre los fundamentos” (p.148), es decir, lo que nosotros podríamos entender como crisis, está estrechamente relacionada con el paradigma y las revoluciones científicas, que es la transición hacia el nuevo paradigma (p.147). Mientras que la ordinaria tiene que ver con el acopio de conocimiento.

En consecuencia, Kuhn acierta cuando no niega que en la ciencia se produce acumulación, sería un poco impetuoso la negación total de la existencia de este fenómeno en toda la práctica científica. No obstante, el estadounidense afirma que esto solo se da en momentos de ciencia normal.

¿Entonces, la historia que hemos descrito puede ser considerada un período de ciencia normal?

Si afirmamos esta cuestión estamos sosteniendo que no se ha producido una revolución científica en todo el proceso de descubrir la molécula, y tampoco ha habido momentos de ciencia extraordinaria ni cambios o confrontación de paradigmas.

Ciertamente, esto coincidiría con nuestra conclusión del apartado anterior, porque observaríamos procesos de acumulación los cuales son naturales en la ciencia ordinaria. Además, como señala Kuhn, los libros de texto y manuales universitarios nos muestran esta concepción de la evolución de la ciencia (p.21), un ejemplo de ello es el siguiente:

La historia del DNA ilustra varios puntos importantes acerca de la naturaleza de la investigación científica. Al igual que tantos avances científicos importantes, la estructura del DNA y su función como material genético no fueron descubiertos por una sola persona, sino que fueron revelados de forma gradual durante un período de casi 100 años, gracias al trabajo de muchos investigadores. (Pierce, 2015, p.278)

Aunque la hipótesis sostenida en este apartado tiene sentido y coherencia con la teoría de Kuhn, no se puede reducir todo a este hecho, debido a que no creo que sea posible considerar la totalidad de la historia del descubrimiento del ADN propuesta en este trabajo como ciencia normal en todo momento.

4.6 Las tres características del descubrimiento

Toda la historia narrada no supondría un descubrimiento para Kuhn, pero sí que encontramos un episodio donde se vislumbran las tres características que, según el filósofo norteamericano, señala en el capítulo seis titulado: “La anomalía y la emergencia de los descubrimientos científicos”, comparten tres descubrimientos, los cuales son: el oxígeno, los rayos X y la botella de Lyden, son las siguientes: la percepción previa de la anomalía, la aparición gradual del reconocimiento tanto conceptual como de observación y el cambio de las categorías y los procedimientos del paradigma. Las tres van apareciendo en mayor o menor medida en los diferentes episodios históricos, pero se puede afirmar con convicción que en él que ocurren las tres juntas y con solidez es en el experimento de Avery, McLeod y McCarty.

La observación de la anomalía es clara cuando advierten, pues, que ninguna enzima relacionada con las proteínas reacciona con la sustancia, y queda reflejado indiscutiblemente cuando las enzimas que actúan con el ADN sí que lo hacen. Por lo tanto, son conscientes de la anomalía debido a que la predicción del resultado no se cumple.

Es cierto que Avery y colaboradores señalan el descubrimiento, es decir, en ningún momento intentan transformar ese resultado, ni hacerlo encajar en las predicciones, y concluyen que “The evidence presented supports the belief that a nucleic acid of the desoxyribose type (ADN) is the fundamental unit of the transforming principle of *Pneumococcus* Type III” (Avery, McLeod & McCarty, 1944, p.156), esta observación no fue acogida como un logro por parte de la comunidad científica, sino que se asimiló tanto a nivel conceptual como de observación paulatinamente. Aunque sí que hubo científicos como Chargaff, el cual fue más intuitivo y hábil en entender qué evidenciaba esa conclusión, y la utilizó en sus investigaciones.

La última característica que Kuhn relaciona con la resistencia paradigmática es justamente lo que el investigador Raúl Mayo Santana señala en su artículo titulado: *Oswald T.Avery y la naturaleza genética del ADN: ¿un caso de descubrimiento científico prematuro o de resistencia paradigmática?* (2014) En él baraja dos hipótesis, o bien que el artículo de 1944 era un descubrimiento prematuro para la ciencia, es decir, que “las implicaciones no pueden conectarse

lógicamente con el conocimiento canónico” (p.11), o bien que existía una resistencia paradigmática estrechamente relacionada con el paradigma de las proteínas y apoyada por la teoría del tetranucleótido de Levene.

Finalmente, el artículo concluye del siguiente modo:

El significado trascendental del descubrimiento de Avery y asociados (1944), fue atajado (e.g., por las objeciones intrigantes de Mirsky), desatendido (e.g., por el grupo de los fagos y gran parte de los geneticistas); y olvidado (incluso, inicialmente, por el mismo Stent)- en fin, fue históricamente *resistido*, porque era esencialmente *contrario* al paradigma dominante; y no meramente por la *ausencia de conectividad* de sus elementos con el canon establecido. (p.35)

Se producirá, pues, un cambio de las categorías y los procedimientos del paradigma, pero como ya deja señalado el filósofo con resistencia paradigmática, la cual es la que el Doctor Mayo Santana señala en su estudio.

Por lo tanto, es sugerente estar apuntando términos como resistencia paradigmática o descubrimiento científico cuando a consecuencia de la acumulación ya señalada nos situáramos en un momento de ciencia normal. Aunque también podemos entenderlo como un ajuste intraparadigmático, ya que se mantiene el núcleo del paradigma y se adaptan cuestiones más triviales.

En este punto podemos comprender que esta teoría kuhniana tan “fácil” de aplicar en física, o incluso en química, no sucede igual cuando entramos en el mundo de las ciencias naturales como la biología o la genética. Una de las conclusiones que se extrae es que sí se dan ciertas partes y nociones de la teoría propuesta por Kuhn; sin embargo, con ciertos matices que ya hemos estado analizando.

Es muy interesante porque uno de los más famosos científicos sobre la evolución, Ernst Mayr (1904-2005), aludiendo directamente al filósofo, mencionó lo siguiente: “En la historia de la biología, ¿dónde estaban las revoluciones cataclísmicas y dónde los largos periodos de “ciencia normal” postulados por la teoría de Kuhn? Según mis conocimientos de la historia de la biología, no existirían tales cosas” (May según cita de Guevara, 2004, p.26).

Cabe destacar que los paradigmas en biología, si los comparamos, por ejemplo, con los que posee la

física, suelen tener más elementos en ellos mismos, cuando se posee un paradigma con tantos elementos es más sencillo que deban producir reajustes. Por lo tanto, para que haya un cambio de paradigma las anomalías deben ser o bien muy importantes o bien deben impregnar muchas partes de la estructura. Un ejemplo de posible cambio paradigmático en biología, el cual podría ser muy profundo, es la teoría de los campos morfogenéticos de Rupert Sheldrake (1942), en la cual está proponiendo un cambio importante de paradigma, y solo el tiempo demostrará si produce el cambio o no.

No sería tan taxativa como este investigador, Ernst, para afirmar que lo propuesto por Kuhn no tiene ningún tipo de significación en la realidad. No obstante, es importante señalar que existen matices cuando aplicamos su teoría en la historia del descubrimiento del ADN.

Una de las conclusiones que se pueden extraer es que la investigación del ADN, que se ha propuesto en este trabajo, no ha producido un cambio de paradigma, pero podríamos situar el cambio previamente, es decir, cuando se cambió de la perspectiva metafísica sobre la vida a una perspectiva donde el objeto de estudio es el soporte material.

4.7 La importancia de la comunidad científica

Aunque algunas de las conclusiones anteriores parecen confusas en términos de determinar si Kuhn estaba en lo correcto o no, un gran acierto del filósofo fue establecer y señalar la parte sociológica de la ciencia, es decir, la comunidad científica, los factores extracientíficos.

No podemos desarrollar y ahondar en este trabajo todos los episodios donde los investigadores, como grupo, han intervenido de manera directa o indirecta en la historia del descubrimiento del ADN, pero sí que vamos a proceder a destacar aquellos más esenciales.

4.7.1 La incompreensión de Mendel

Probablemente el caso de Gregor Mendel es el más célebre. El fraile agustino había descubierto, como se ha narrado en el segundo apartado, las bases de la genética; sin embargo, este planteamiento que comprendía cuestiones tan innovadoras, ya descritas por Focault, no fue comprendido por los contemporáneos de Mendel, es decir, no fueron capaces de reconocer el hito que suponía sus conclusiones, debido a los paradigmas y objetivos de la época, puesto que Mendel no localizaba el soporte material de sus leyes, aunque su modelo

tuviera alta capacidad productiva. No fue hasta su redescubrimiento, que, entonces, los investigadores del siglo XX pudieron conectar y entender las ideas.

4.7.2 El caso Miescher

La investigación de este médico suizo no cumple los patrones que Kuhn señala sobre el “vacío” que la comunidad científica puede llevar a cabo contra un científico o investigador. No obstante, creo que es interesante destacarlo por su propia figura.

Como se menciona en el artículo del doctor Guevara “el carácter taciturno y poco social del médico suizo, hicieron que Miescher no lograra en su tiempo el reconocimiento debido” (p.18). Por lo tanto, el pasar desapercibido de este investigador se debe, en parte, a él, pero sigue siendo una cuestión sociológica y que afecta al avance de la ciencia.

4.7.3 El Rockefeller Institute

Las investigaciones que surgieron de esta institución solían tener un cierto carácter de autoridad, debido a que se estableció como el punto central de las investigaciones sobre los ácidos nucleicos. Es tan fuerte esta influencia que la teoría del tetranucleótido de Levene se impone con firmeza aunque fuera errónea, e incluso, aunque se avanza la investigación sobre la molécula y los científicos observan que la propuesta de Levene puede no ser del todo correcta, cuesta mucho que la falsen y la consideren incorrecta.

Y, probablemente, uno de los motivos principales es la autoridad que desprende una investigación desarrollada en la institución que era considerada un referente sobre la herencia.

4.7.4 Avery, McLeod y McCarty

En repetidas ocasiones se ha mencionado este episodio durante el transcurso del trabajo, no podemos dejar de señalar la fría acogida del artículo escrito en 1944 por parte de la comunidad de científicos.

Recordemos, pues, que se desacreditaba directamente la teoría/paradigma de las proteínas como portadoras de la información genética. Por lo tanto, la resistencia por parte de los científicos para validarla fue muy lenta, e incluso algunos nunca llegaron a hacerlo. Este es un claro ejemplo de los que propone Kuhn, y podemos observar lo importante que es la psicología y sociología de los investigadores.

Guevara en la cuarta conclusión de su artículo recoge parte de la esencia de la propuesta de Kuhn. “Las condiciones ambientales, extracientíficas, favorecen o entorpecen la labor de investigación, pero ellas no modifican los hechos reales del mundo material” (p.38).

El filósofo no estaría totalmente de acuerdo con la última parte de esta afirmación; sin embargo, capta la esencia de esta influencia de la comunidad científica en las investigaciones.

5. Conclusión

Este Trabajo de Final de Grado ha pretendido ofrecer una lectura, o una visión, de la historia del descubrimiento del ADN mediante el uso de la teoría del filósofo americano Thomas Kuhn. Para desarrollarlo se ha hecho una síntesis del libro más relevante del físico y, también, se ha desarrollado un relato lo más objetivo y neutro posible sobre la evolución de la historia de la molécula estudiada.

Aunque no se haya podido realizar una lectura completa debido a que un trabajo de ese tamaño estaría más próximo a una tesis doctoral, estoy convencida de que mediante esta investigación he podido ofrecer algunas conclusiones que podrían ayudar a hacer una futura lectura más extensa.

La historia de la biología está compuesta por los descubrimientos científicos y por el avance de estos, así lo hemos podido observar. Thomas Kuhn no estaría completamente de acuerdo con esta afirmación, y, probablemente, nos señalaría la importancia de los factores extracientíficos. He podido concluir, en diversas ocasiones, que su teoría filosófica es muy complicada de aplicar en este caso y en la biología, en general. No obstante, existe una idea de fondo que creo que es clave, y se trata de la palabra *matiz*, cuando apliquemos la propuesta de Kuhn debemos matizarla y así poder hacerla encajar con las propias circunstancias y paradigmas *-nunca mejor dicho-* de esta disciplina científica. Por lo tanto, no considero que sea universalizable para toda la ciencia la teoría del paradigma en su totalidad, o no lo es fácilmente.

Por ello, aparecen cuestiones como la de la acumulación, la ciencia normal, la resistencia paradigmática, el descubrimiento... que nos cuesta ajustarlas en todo este puzzle, y sobre todo entenderlas como el historiador las expone. Aunque no podemos invalidar la aplicación de la teoría de Kuhn a la biología. Se puede interpretar lo que se ha desarrollado como un proceso de ciencia normal por acumulación, y que se han integrado aquellas anomalías, no importantes, en el paradigma.

No obstante, uno de los grandes aciertos de esta concepción filosófica sobre la ciencia es el protagonismo que le dota a la comunidad científica, y este aspecto queda patente en la historia del ADN. Es decir, esa idealización de la ciencia que poseemos en la que entendemos, pues, que es la actividad más objetiva y sin ningún tipo de influencias ni de condicionamientos, el americano nos señala el factor humano, el cual está dentro de esta empresa y que la mayoría de veces puede dejar de ser objetivo. Como un buen profesor, Dr. Josep Corcó, una vez afirmó en clase: “Estos seres

humanos que llamamos científicos también tienen ambiciones, sueños y retos”. Por lo tanto, esta dimensión humana, que en muchas ocasiones queda cubierta por el ideal de lo que debería ser la ciencia, influye más de lo que llegamos a imaginar.

El estudio de la historia de las ciencias debe empezar hacer lecturas sociológicas en las que se intente comprender las diferentes comunidades científicas, los objetivos y las ambiciones de los investigadores de esos momentos o del episodio estudiado. Entonces, podremos hacer análisis más completos y comprender muchas de las cuestiones que pueden llegar a pasar desapercibidas si solo estudiamos cronológicamente los descubrimientos y teorías.

Thomas Kuhn fue criticado por muchos motivos, y en la actualidad sigue siéndolo, pero pocos han sido los que han señalado negativamente su apunte sobre la dimensión sociológica de la ciencia y el significativo papel que tienen los científicos en el momento de decidir cómo debe avanzar. Por ello, creo que se debe tener en cuenta este análisis kuhniano, pero sobre todo ser conscientes que la ciencia que se está practicando en la actualidad tiene detrás toda una comunidad científica que tanto como para bien o como para mal es humana, y ellos son los que guían el estudio de la disciplina.

Otra reflexión que nos deja entrever Kuhn sobre nuestra sociedad y la relación que tenemos con los científicos, es la siguiente: nosotros solemos etiquetar a los científicos de seres casi divinos, los cuales siempre tienen razón y nunca pueden errar; sin embargo, esta etiqueta supone un peso demasiado importante, especialmente cuando se equivocan, para personas que al final son como todos nosotros.

En la actualidad la ciencia debe promover mecanismo que no distorsionen los resultados o el avance de esta debido a los intereses de los investigadores, si bien es cierto que existe un control respecto al uso y a la aplicación correcta de la metodología científica, en el caso de los conflictos de intereses es más complicado revisarlo y contrastarlo. Por ello, se deben generar dispositivos que puedan vigilar este tipo de supuestas *mala praxis*.

Por último, me gustaría destacar dos líneas de estudio futuras, las cuales no he podido cubrir debido a la extensión del trabajo, pero junto con los dos primeros apartados ofrecidos anteriormente y ahondando sobre la temática podrían salir nuevas conclusiones.

La primera trata sobre la teoría de las proteínas y el momento de confrontación con los resultados de Avery y colaboradores, todo ello relacionado con los paradigmas de Kuhn. Por otro lado, la segunda línea de investigación estaría relacionada con el período preparadigmático de antes de

Mendel en el cual he podido percibir un cierto cambio de paradigma o aceptación de conceptos e ideas. Además, estoy convencida de que Mendel puede llegar a esas ideas debido a este cambio que sucede entre los siglos XVIII y XIX.

6. Bibliografía

- Avery, T., McLeod, C. & McCarty, M. (1944). Studies on the Chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by desoxyribonucleic acid fraction isolated from Pneumococcus Type III. *Journal of Experimental Medicine*, 9, 137-158.
- Jouve, N. (1987). El mendelianismo antes y después de Mendel. En Real Academia de Ciencias Exacta, Físicas y Naturales (Ed.), *Cursos de conferencia sobre historia de la genética: desarrollado durante los meses de Noviembre y Diciembre de 1986* (1 ed., pp. 59-73). Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Franklin, R. & Gosling, R. (1953). Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate. *Nature*, 171, 740-741. Disponible en <https://www.nature.com/articles/171740a0#citeas>
- Guevara, G. (2004). ADN: historia de un éxito científico. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 3(11), 9-40. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41401101>
- Kuhn, T. (1989). *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*. Barcelona. España: Ediciones Paidós Ibérica.
- Kuhn, T. (1997). *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid. España: Fondo de Cultura Económica.
- Kuhn, T. (2002). *El camino desde la estructura*. Barcelona. España: Ediciones Paidós Ibérica.
- Mayo, R. (2014). Oswald T.Avery y la naturaleza genética del ADN: ¿un caso de descubrimiento científico prematuro o de resistencia paradigmática? *Revista Umbral*, 9, 11-40. Disponible en <https://revistas.upr.edu/index.php/umbral/article/view/8410>
- Pierce, B. (2015). *Genética. Un enfoque conceptual*. Madrid. España: Editorial Médica Panamericana.
- Rheinberger, H. & Müller, S. (2017). *The Gene: from genetics to postgenomics*. Chicago, Estados Unidos de América: The University of Chicago Press.
- Watson, J. & Crick, F. (1953). Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature*, 171, 737-738. Disponible en <https://www.nature.com/articles/171737a0#citeas>
- Wilkins, M., Stokes, A. & Wilson, H. (1953). Molecular Structure of Nucleic Acids: Molecular Structure of Deoxypentose Nucleic Acids. *Nature*, 171, 738-740. Disponible en <https://www.nature.com/articles/171738a0#citeas>