



UNIVERSIDAD DE CHILE

VICERRECTORÍA DE ASUNTOS ACADÉMICOS

PROGRAMA ACADÉMICO DE BACHILLERATO

**LAS MUJERES QUE SENTARON LAS BASES DE LA ASTROFÍSICA:
UN ANÁLISIS DE LA PARTICIPACIÓN DE LAS MUJERES DENTRO DEL MUNDO
ACADÉMICO Y CIENTÍFICO, CON SUS APORTES PARA DESCRIBIR LA
COMPOSICIÓN Y TEMPERATURA DE LAS ESTRELLAS**

ENSAYO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER
CON MENCIÓN EN CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

PROFESORA GUÍA:
ISIDORA CAPRILE SANDOVAL

ALUMNA:
ESTEFANÍA MUÑOZ MIRANDA

SANTIAGO DE CHILE
07 DE ENERO DE 2021

ÍNDICE

1. RESUMEN	3
2. INTRODUCCIÓN	4
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. ACCESO DE LAS MUJERES A LA CIENCIA	6
3.1 Primer periodo (siglo XVI – siglo XIX)	6
3.1.1 Creación de las universidades: solo para los hombres	6
3.1.2 Siglo XIX de los grandes cambios: ingreso de la mujer a las universidades	7
3.2 Segundo periodo (siglo XX hasta la actualidad)	8
3.2.1 Sesgos en la elección de las carreras universitarias	8
3.2.2 Deserción en las universidades y en el campo laboral	9
3.2.3 Consecuencias positivas del acceso femenino a la universidad	9
3.2.4 Diferencias entre mujeres y hombres	10
4. PIONERAS EN LA CIENCIA	12
4.1 Invisibilización de las mujeres en la ciencia	12
4.2 Ejemplos del no reconocimiento de las mujeres en la ciencia	13
5. CECILIA HELENA PAYNE, UNA DE LAS GRANDES PIONERAS	14
5.1 Espectroscopía	14
5.2 Descubrimiento de la composición de las estrellas	18
5.3 Descubrimiento de la temperatura de las estrellas	21
5.4 Reconocimiento y validación de la tesis de Payne	23
5.5 La importancia de la composición y temperatura de las estrellas	25
6. CONCLUSIONES	27
7. REFERENCIAS	29
7. ANEXOS	32

1. RESUMEN

Actualmente existe una baja participación de la mujer en la ciencia, lo que nos lleva a cuestionarnos, ¿por qué se produce esta brecha? Para dar respuesta a esta pregunta, la presente monografía tiene como objetivo analizar la participación de las mujeres y el reconocimiento de sus descubrimientos en el mundo académico y científico, tomando como ejemplo el descubrimiento de la composición y temperatura de las estrellas, para así valorizar la importancia y las repercusiones de éste. Para ello, el trabajo se divide en dos grandes periodos, el primero en el cual la mujer no tenía acceso a la universidad (siglo XVI- XIX), y el segundo en el cual lograron conseguir el acceso (siglo XX hasta la actualidad) pero enfrentando diversas dificultades a la hora de validar sus títulos, incluyendo una alta deserción por la discriminación hacia la mujer. Posteriormente, se explica el descubrimiento de Cecilia Payne, en el cual logró demostrar que las estrellas se componen básicamente de hidrógeno y helio, además de describir sus temperaturas absolutas a partir de la taxonomía de los espectros estelares de absorción realizada por la científica Cannon. Sin embargo, se expone que en aquella época le fue invalidada y refutada su tesis, demorando años en comprobar que Payne tenía razón, logrando sentar las bases de la astrofísica moderna, y siendo una inspiración para muchas mujeres. Finalmente, se pudo concluir que la baja inserción actual de la mujer en el ámbito científico tiene sus orígenes siglos atrás con la tardía incorporación de las mujeres a las universidades, pero que en ningún caso se debe a la falta de talento ni pasión de éstas, sino que es causada por la aversión y rechazo hacia las mujeres por parte de los hombres en aquella época, que hasta hoy en día aún permanece.

Palabras Claves: desigualdad de género, mujer en la ciencia, universidades, pioneras, estrellas, astrofísica, espectroscopía.

2. INTRODUCCIÓN

Las estrellas son una parte esencial en la formación de estructuras y composición del Universo, debido a que la fuerza gravitacional que generan hace que la materia se agrupe formando diversas estructuras. La jerarquía va desde las estructuras menores que son los cuerpos celestes (como las estrellas en conjunto con los planetas), le siguen las galaxias que son familias de estrellas, hasta llegar a las llamadas murallas, que son franjas gigantescas de supercúmulos de galaxias. De esta forma, el estudio de las estrellas es fundamental para comprender la composición del Universo (Díaz y Zandivarez, 2014, p.68).

A principios del siglo XX la comunidad científica creía que la composición de las estrellas, al igual que la del Universo, era parecida a la de la Tierra. Sin embargo, una mujer descubrió que esta creencia era errónea. Desafortunadamente, en aquella época le invalidaron e incluso le ridiculizaron su descubrimiento por la fuerte discriminación y rechazo que poseía la idea de una mujer en la ciencia.

Actualmente, existe solo un 28% de las mujeres a nivel mundial que se dedican a ejercer como investigadoras en áreas científicas, lo que se contrapone con un 72% en el caso de los hombres (UNESCO, 2017). Esta cifra es bastante preocupante a nivel mundial, dado que es una notoria brecha entre mujeres y hombres, lo que nos lleva a preguntarnos, ¿a qué se debe esta desigualdad de género? Esta brecha no es casualidad, ha sido un problema que se viene arrastrado desde hace siglos con las sociedades misóginas. Cabe destacar que esta brecha no solo recae en el ámbito de investigación femenina, sino también en el acceso a las universidades, en la ejecución de cargos directivos, los salarios, continuando con una larga lista en donde la mujer se encuentra en posición inferior al hombre.

Es importante analizar esta brecha ya que nos ayuda a comprender cómo fue y cómo es la sociedad actual en la que vivimos, comprender por qué muchos descubrimientos en la historia están validados y reconocidos con nombres masculinos siendo que también participaron mujeres en ellos. Asimismo, entender que esta brecha no es algo natural de la sociedad, nos ayuda a visualizar que éste es un problema que debe resolverse y que debe cambiar, ya que las mujeres no son inferiores ni muy diferentes de los hombres,

sino que son igual de capaces de lograr grandes investigaciones, como lo fue el descubrimiento de la composición y temperatura de las estrellas realizado por Cecilia Payne que se expone en la presente monografía.

2.1 Objetivo general

Dado lo anterior, en la presente revisión bibliográfica se busca:

Analizar la participación de las mujeres y el reconocimiento de sus descubrimientos en el mundo académico y científico, tomando como ejemplo el descubrimiento de la composición y temperatura de las estrellas, para así valorizar la importancia y las repercusiones de este descubrimiento.

2.2 Objetivos específicos

Para el cumplimiento de nuestro objetivo general, se plantean diferentes objetivos específicos a cumplir:

- a) Identificar el comienzo de la participación de las mujeres en el mundo científico y en las universidades dentro del mundo occidental.
- b) Reconocer las diferencias de participación y reconocimiento entre las mujeres y hombres en el ámbito científico dentro de los últimos 3 siglos.
- c) Explicar el fenómeno de los espectros de emisión y absorción.
- d) Comprender el procedimiento mediante el cual se determina la composición y temperatura de las estrellas a partir de los espectros de absorción.
- e) Identificar a los científicos que se les atribuye el descubrimiento de la composición y temperatura de las estrellas.
- f) Explicar la conexión entre el descubrimiento realizado y el nacimiento de la astrofísica moderna.
- g) Reconocer la importancia y las repercusiones del descubrimiento de la composición y temperatura de las estrellas en el mundo científico y social.

3. ACCESO DE LAS MUJERES A LA CIENCIA

El acceso de las mujeres tanto a la ciencia como a las universidades se puede dividir históricamente en dos grandes periodos: el primero data desde el surgimiento de la ciencia como tal en el siglo XVI-XVII en conjunto con la creación de las universidades finalizando en el siglo XIX, dando paso al segundo periodo desde el siglo XX hasta la actualidad.

3.1 Primer periodo (siglo XVI – siglo XIX)

En este primer periodo la participación de las mujeres en las universidades era casi nula, excepto por algunas mujeres que, por su contexto social y económico, tuvieron la oportunidad de ingresar a estudiar carreras universitarias pese a que estas estuvieran prohibidas para las mujeres. Estas mujeres fueron llamadas “pioneras”, de las cuales se hablará más adelante (Palermo, 2006).

3.1.1 Creación de las universidades: solo para los hombres

Los motivos para la prohibición de acceso a las mujeres a las universidades desde su creación son diversos, y se tendría que remontar la búsqueda hace siglos y siglos atrás con las ideas de Aristóteles en conjunto con otros autores. Sin embargo, uno de los principales motivos que es interesante recalcar es la concepción y los estereotipos de género, en donde en esos años se “asociaban a las mujeres casi exclusivamente al cuidado del hogar y de los niños (...) [e incluso] el trabajo remunerado femenino era mal visto y, cuando era absolutamente necesario que una mujer trabajara, debía hacerlo en tareas auxiliares y ligadas a su ‘naturaleza’” (Palermo, 1998, p.101).

Durante la creación de las universidades también surgieron algunas instituciones intelectuales como lo fueron los salones y los círculos científicos, en donde las mujeres pudieron ser partícipes de éstos pese al rechazo en las universidades, e incluso muchas de estas mujeres lideraban y dirigían estas instituciones, creándose un espacio de participación científica femenina. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos, esas participaciones nunca fueron legitimadas quedando aisladas de la ciencia (Van den Eynde, 1994, p.85).

Por otra parte, existían mujeres que no se sometían a esta prohibición y se infiltraron en las universidades como varones para lograr estudiar sus carreras deseadas, como es el ejemplo de dos mujeres, Enriqueta Faver Caven y Miranda Stuart Barry, que a inicios del siglo XIX “estudiaron y se recibieron de médicas como varones, (...) [para finalmente trabajar] intensamente en su profesión, como hombres, ya que, según el pensamiento de la época, las mujeres no podían ejercer las profesiones universitarias” (Palermo, 2006, p.14).

3.1.2 Siglo XIX de los grandes cambios: ingreso de la mujer a las universidades

El siglo XIX estuvo enmarcado en un contexto de grandes cambios a nivel mundial, uno de los cuales fueron los reclamos y las luchas feministas que presentaban las mujeres frente a la igualdad de derechos entre ambos sexos, en base a la prohibición en el acceso a la educación superior. De esta forma, Palermo (2006) sostiene que para lograr el acceso se debió pasar por un proceso lento pero ininterrumpido de luchas, logrando que recién en Estados Unidos, en el año 1837 la Universidad Oberling College, empezara a aceptar mujeres en sus planes de estudios. Sin embargo, estas poseían un currículum diferente en relación a los varones.

Este último hecho dio paso a que más países se unieran en las próximas décadas, como lo fue en el caso de los países europeos con “las universidades inglesas en la década de 1870, las francesas en la de 1880 y las alemanas en la de 1900” (Van den Eynde, 1994, p.87), y así los países latinoamericanos se unieron hacia finales del siglo XIX con los países de Brasil, México, Cuba y Argentina. En el caso de Chile, Miguel Amunátegui, Ministro de Instrucción Pública de Chile en el año 1877 dictó el decreto que permitía a las mujeres chilenas ingresar a la universidad, dando paso para que Eloísa Díaz y Ernestina Pérez, a inicios de la década del 1880, ingresaran a la carrera de Medicina.

El caso de España fue un poco distinto, ya que hasta el año 1910 las mujeres requerían tener un permiso de la Dirección General de Instrucción Pública, institución que estudiaba caso a caso, por lo que el proceso podía durar meses e incluso a veces años. Esto generó que muy pocas mujeres se atrevieran a solicitar y esperar el permiso, haciendo casi nulos los estudios universitarios femeninos en el siglo XIX (Palermo, 2006, p.25).

Existen múltiples factores que relacionan este acceso “sistemático” a la universidad, como lo fueron los cambios económicos y sociales que ocurrieron en ese siglo. Estos cambios modificaron las expectativas de las familias de sectores medios para que estas mujeres estuvieran “mejor dotadas a la hora de casarse y de educar a sus hijos” (Palermo, 1998, p.96), y así logrando que las familias optaran por ingresar a sus hijas a las universidades, pero sin la intención de ejercer profesionalmente en un futuro, desencadenando una escasez del ejercicio profesional femenino.

De esta forma, se termina el primer periodo en el siglo XIX con una escasa participación femenina en las universidades, ya que, al recién estar implementándose el acceso, muchas mujeres dudaban o no se atrevían a ingresar, o como ya visto en el caso de España, el proceso de acceso se podía alargar por años.

3.2 Segundo periodo (siglo XX hasta la actualidad)

3.2.1 Sesgos en la elección de las carreras universitarias

Ya en el siglo XX las mujeres podían optar por una carrera universitaria, sin embargo, a la hora de escoger sus carreras existían diversos sesgos en relación a la socialización de género, que sería el “responsable de la concentración de mujeres en determinadas ramas de conocimiento (las relacionadas con la salud o la educación, ámbitos de “cuidado”) y de su escasa presencia en las disciplinas más tecnológicas, como algunas especialidades de la ingeniería” (González, 2017, p.23).

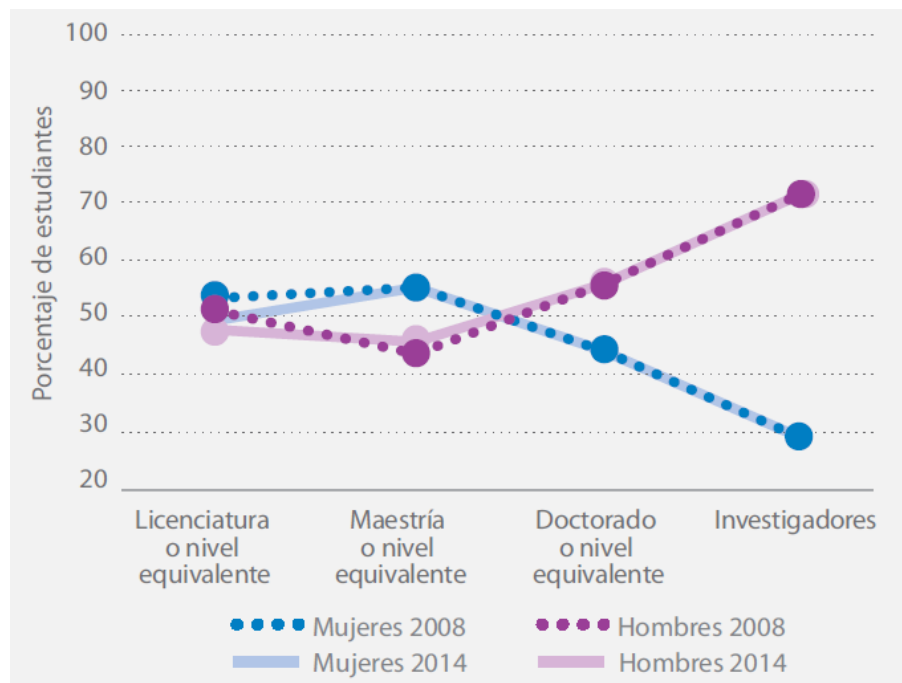
Otros de los motivos de la desigualdad en la elección de carreras, es apelar a los ‘factores biológicos’ concebidos para las mujeres como señala González (2017), el hecho de que las mujeres no se destinen a carreras científicas tiene que ver con la ‘naturaleza de sus sexos’, lo cual analiza en su texto “Ciencias, Tecnologías y Género”. Por otra parte, también señala que las mujeres no llegan en igualdad de condiciones a las universidades, ya que los estereotipos de género asocian a las mujeres con rasgos como emotividad, subjetividad, pasividad, dependencia, en cambio, a los varones se les asocia todo lo contrario con características de racionalidad, dominación, independencia y objetividad.

3.2.2 Deserción en las universidades y en el campo laboral

Como se menciona anteriormente, el hecho de que las mujeres ingresaran a la universidad no implicaba que éstas se graduaran, ni mucho menos que ejercieran como investigadoras, es decir, “entran en el sistema y se van perdiendo a través de los agujeros de la tubería por la que avanzan sus carreras científicas” (González, 2017, p.17).

De acuerdo con el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) realizado el año 2017, sólo un 53% de las mujeres se gradúan de carreras de ciencias e ingeniería a nivel mundial, lo que decae hasta un 43% para quienes obtienen un doctorado, y finalmente se desmorona hasta un 28% de mujeres que ejercen como investigadoras (véase figura 1).

Figura 1: Proporción de mujeres y hombres en educación superior e investigación, promedio mundial.



Fuente: UNESCO, (2019). *Descifrar el código: La educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM)*. p.20.

3.2.3 Consecuencias positivas del acceso femenino a la universidad

A pesar de todo lo anterior, existen muchos beneficios para las mujeres ligados a su incorporación a la educación superior, dentro de los cuales es importante recalcar dos.

Por una parte, la autora Palermo (2006) señala que, a medida que las mujeres comenzaron a ingresar a la educación superior, éstas poseían un mayor nivel de instrucción lo que modificaba su comportamiento, ya sea en contextos familiares como profesionales, ayudándolas a ser capaces de tomar decisiones por cuenta propia, y no enmarcarse en los estereotipos impuestos socialmente. Estas mujeres ya “hablaban de emancipación, empezaban a ocupar los pupitres de las universidades como alumnas y los laboratorios y los grupos de investigación como científicas que se encontraban en un mundo mayoritariamente masculino, un mundo diseñado por y para los hombres” (González, 2017, p.6).

Por otra parte, también se vieron beneficiadas algunas mujeres que cooperaban en las labores investigativas de sus maridos, padres o hermanos científicos, que antes del siglo XIX eran nombradas como ‘asistentes invisibles’. Con el acceso a las universidades fueron capaces de decidir si querían seguir cursos de instrucción pública para conseguir la certificación (lo que no era posible en el siglo anterior) y seguir en el ámbito de la ciencia, o bien continuar participando dentro de la esfera familiar. Ahora era su elección, no una imposición (Van den Eynde, 1994, p.86). De esta forma, el acceso a la universidad ayudó a que gran parte de las mujeres pudieran introducirse en el campo científico haciéndose parte de la historia de la ciencia.

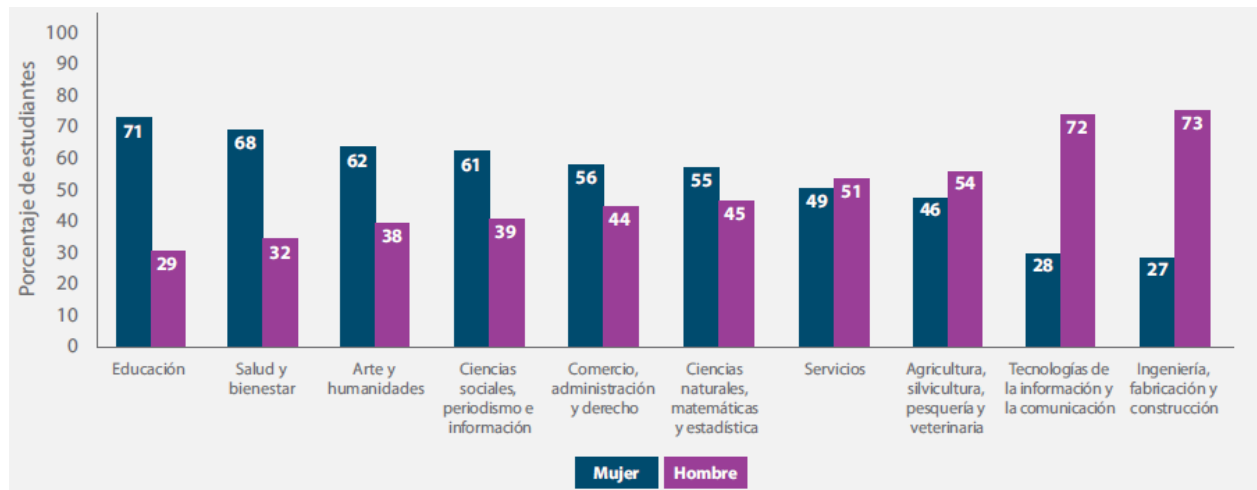
3.2.4 Diferencias entre mujeres y hombres

De acuerdo con el informe de la UNESCO realizado el año 2017, solo un 28% de los investigadores a nivel mundial son mujeres, lo que se contrapone con el 72% de la participación de los hombres (véase figura 1). Además, existe un contraste entre la elección de carreras por campos de estudio, en donde se refleja que mayoritariamente los hombres, con aproximadamente un 73% en relación a las mujeres, escogen carreras relacionadas con la ingeniería y la tecnología, y con un 70% aproximadamente las mujeres eligen carreras de la educación y salud (véase figura 2). Todo esto refleja una clara diferencia de género en ámbitos de participación científica incluso hasta el día de hoy.

Tal como se menciona en el apartado anterior, muchas mujeres se beneficiaron al obtener la libertad de elegir si estudiar una carrera universitaria o formar una familia, sin embargo,

esto genera una nueva discusión a la hora de compararlo con la situación masculina. González (2017) señala que a los hombres no se les exige la elección entre formar una familia o desarrollar su carrera profesional, mientras que a las mujeres sí. Esto nos lleva a cuestionarnos si realmente existe una completa libertad femenina, considerando que de igual forma las mujeres se ven obligadas a tomar esta decisión que no recae en ningún momento en los ‘hombros’ de la mayoría de los hombres. Si bien actualmente las mujeres pueden elegir, el problema es que *deben* hacerlo. De esta forma, podemos concluir que efectivamente existe una diferencia hasta incluso en las decisiones que puede tomar uno u otro.

Figura 2: Proporción de estudiantes mujeres y hombres inscritos en la educación superior, por campo de estudio, promedio mundial.



Fuente: UNESCO, (2019). *Descifrar el código: La educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM)*. p.23.

4. PIONERAS EN LA CIENCIA

La ciencia, tal y como la conocemos en la actualidad, nace en los siglos XVI y XVII, en donde la ciencia moderna se va configurando en los talleres artesanales familiares, los cuales solo lo poseían las familias más acomodadas de aquella época. Allí se practicaba la Astronomía, realizando observaciones y estudios de los diversos fenómenos celestes como, por ejemplo, los eclipses, fases lunares, rotación solar, entre otros, asimismo, la Entomología con el estudio de la vida de los insectos. En ambas prácticas se registraban cuidadosamente los resultados de sus observaciones, ya que, al aprender de Astronomía y Entomología, también se lograba aprender de la vida terrestre en general. Es allí donde ciertas mujeres pudieron encontrar espacios de participación, ya sea como aprendizas o trabajadoras en calidad de hijas o esposas de artesanos. Por lo que es común encontrar astrónomas alemanas en los años 1650 y 1710 (Van den Eynde, 1994, p.84).

De esta forma, con la creación de las universidades y el paso del tiempo ciertas mujeres pudieron tener por primera vez acceso a la educación de forma oficial y contribuir así activamente con la ciencia. Son estas mujeres las que conocemos como “pioneras” debido a su osadía para enfrentar las barreras sociales de la época.

Sin embargo, no debemos olvidar que estas mujeres son la excepción en la historia, ya que venían de contextos familiares y niveles socioeconómicos elevados, o poseían rangos como hijas o esposas de científicos, lo que les abrió paso a la oportunidad de desarrollar sus curiosidades científicas, y posteriormente el acceso a las universidades, aunque aún estuviera prohibido para las demás mujeres (González, 2017, p.10).

4.1 Invisibilización de las mujeres en la ciencia

Las mujeres han participado desde hace muchos siglos en la historia de la ciencia, como es el ejemplo de las “pioneras”, sin embargo, su papel protagónico ha sido ignorado por los historiadores, u ocultado tras los rostros masculinos de sus esposos o maestros (Van den Eynde, 1994, p.81). Cabe destacar que la misma historia científica, campo que se conoce “tradicionalmente como masculino”, ha sido contada desde los mismos hombres atribuyéndole la historia a su mismo sexo, razón por la cual las mujeres han quedado olvidadas en la historia (González, 2017, p.6).

Un ejemplo de esto es Hypatia, la cual realizó importantes estudios sobre matemáticas y astronomía, sin embargo, se le dio más énfasis a su historia de vida y muerte, adornadas de romanticismo más que a su trabajo profesional. Por otro lado, “Maria Winckelmann descubrió el cometa de 1702 [en donde se le atribuyó su reconocimiento] pero, contrariamente a la tradición establecida, éste no recibió su nombre” (Van den Eynde, 1994, p.83-84).

4.2 Ejemplos del no reconocimiento de las mujeres en la ciencia

Muchas son las mujeres que han sido invisibilizadas en la historia, sin embargo, a otras incluso se les han arrebatado sus descubrimientos o sus aportes científicos, reconociendo a otras figuras masculinas y no a las científicas correspondientes. Algunos ejemplos de esto son:

“Las contribuciones de Lise Meitner al descubrimiento de la fisión nuclear o de Rosalind Franklin al de la estructura de doble hélice del ADN, por ejemplo, no fueron reconocidas en su momento, aunque sus colegas varones recibieron sendos premios Nobel por ellas” (González, 2017, p.12).

Otro caso es el de “Maria Cunitz, que publicó un tratado sobre la simplificación de las Tablas Rudolfinas de Kepler. Durante mucho tiempo el tratado fue atribuido a su marido, quien debió desmentirlo” (Van den Eynde, 1994, p.84).

Por otro lado, los premios Nobel se otorgan como reconocimiento por las trayectorias extensas de investigación, el cual es un reconocimiento al que muchas mujeres no pueden acceder solo por el hecho de ser mujeres, como fue el caso de Jocelyn Bell Burnell, en donde “Tony Hewish recibió el Premio Nobel por este descubrimiento [de la existencia de los púlsares] en 1974 junto a Martin Ryle y, sin embargo, la contribución de Jocelyn Bell Burnell no fue reconocida” (González, 2017, p.11).

5. CECILIA HELENA PAYNE, UNA DE LAS GRANDES PIONERAS

Como hemos visto en las secciones anteriores, existieron algunas pioneras que enfrentaron las diversas barreras impuestas por la sociedad, siendo una de estas mujeres Cecilia Payne, científica británica-estadounidense que gracias a sus grandes aptitudes académicas consiguió una beca en la Universidad de Newham en Cambridge en donde estudió botánica, física y química (Vilte y Perales, p.19).

Fue en 1919 en una conferencia acerca de los eclipses solares cuando se interesó por la astronomía, decidiendo que tras graduarse de Cambridge se dedicaría a ese campo de estudio. Así, logró exitosamente completar sus estudios, sin embargo, no le dieron el grado académico que le correspondía debido a que esa universidad no aceptó dar títulos a mujeres hasta el año 1948 (López, 2017).

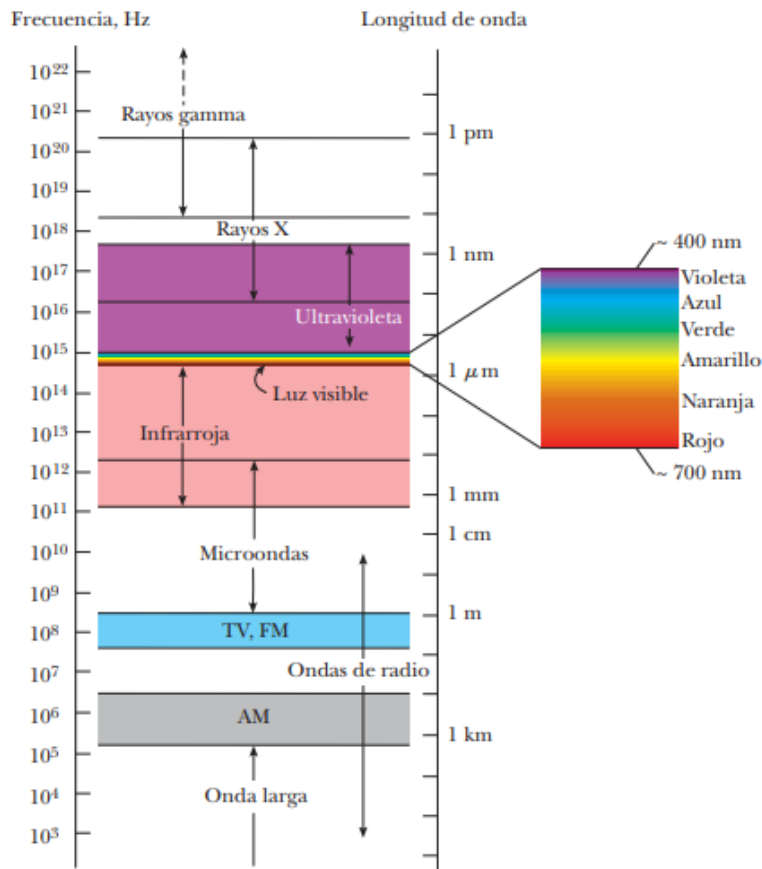
Sin embargo, Payne no se dio por vencida, y determinada a conseguir su sueño decidió embarcarse en un viaje a Estados Unidos, pues creía que allí una mujer sería mejor aceptada. De esta forma, gracias a un programa del astrónomo Harlow Shapley, el cual tenía como propósito alentar a las mujeres a formarse y trabajar en astronomía, pudo conseguir una beca para estudiar en Harvard College Observatory en el año 1923 (Vilte y Perales, p.19). Así en 1925 fue la primera mujer en presentar una tesis doctoral de astronomía en Harvard, y para desarrollarla se unió al equipo femenino de investigación de Edward Pickering, director del Observatorio de Harvard, en donde observó y analizó espectros de estrellas en conjunto con su equipo femenino (Rutten, 2018, p.7).

5.1 Espectroscopía

Para continuar con la explicación y el resultado de la tesis de Cecilia, se deben comprender ciertos conceptos importantes que ayudarán al entendimiento del descubrimiento de Payne.

Para comenzar, existe lo que se llama el “espectro electromagnético” el cual ordena los diversos tipos de ondas electromagnéticas, dependiendo de su frecuencia y su longitud de onda, que va desde las ondas de radio, con mayor longitud de onda y menor frecuencia, a los rayos gamma, con menor longitud de onda y mayor frecuencia como se observa en la figura 3 (Serway, 2009, p.967).

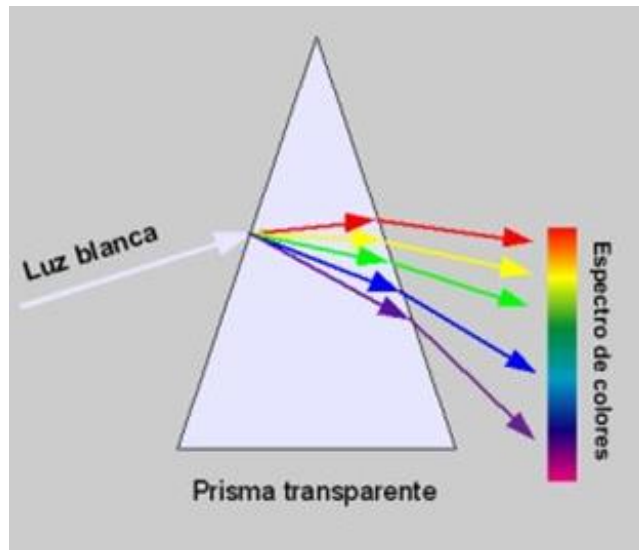
Figura 3: El espectro electromagnético.



Fuente: Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2009). *Física: Para ciencias e ingeniería con Física Moderna. Vol. 2. Séptima Edición. Capítulo 34, p.967.*

En el centro del espectro electromagnético se encuentra una zona denominada “luz visible”, que corresponde al conjunto de aquellas ondas que el ojo humano puede ver y percibir (Serway, 2009, p.967). El espectro visible se puede observar al hacer el experimento de pasar luz blanca a través de un prisma, el cual la descompone en sus distintos colores. Cada color está asociado a una longitud de onda diferente que se refracta y desvía con un ángulo específico como se puede observar en la figura 4 (Serway, 2009, p.967). El espectro captado por la pantalla luego que la luz blanca atraviesa el prisma es lo que se conoce como el espectro continuo (véase figura 5).

Figura 4: La descomposición de la luz blanca.



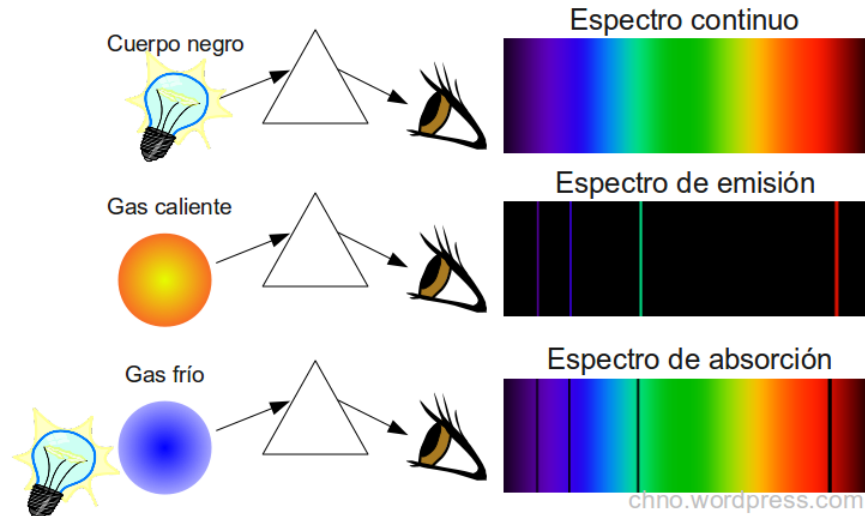
Fuente: S/N. (2013). Extraída desde <http://laluzeneluniverso.blogspot.com/2013/04/dispersion-y-absorcion-de-la-luz.html>, consultada el día 16 de diciembre de 2020 a las 22:20 hrs.

De la misma forma, si se repite el mismo experimento de la luz blanca a partir de una fuente continua, pero ahora se le antepone un gas o una solución diluida antes de llegar al prisma, se puede observar que se forma un espectro no continuo en la pantalla, es decir, se ve una serie de líneas oscuras sobre el espectro continuo (véase figura 5). A este espectro con franjas negras se le denomina espectro de absorción. Este fenómeno puede ser explicado al notar que, cuando la luz blanca atraviesa dicha sustancia, sólo logran pasar aquellas longitudes de onda que no hayan sido absorbidas por ésta, de modo que, el espectro observado en este caso posee ciertos vacíos (franjas negras). Esto sirve para identificar los elementos químicos que posee dicha sustancia, pues cada elemento químico posee un patrón único en su espectro de absorción (Serway, 2009, p.1216).

Por otro lado, existen ciertos elementos en estado gaseoso que al ser sometidos a altas temperaturas emiten luz (gases incandescentes), por lo que cuando esta luz se hace pasar por un prisma se produce lo que se conoce como el espectro de emisión, el cual posee solo unas franjas brillantes (véase figura 5) que representan las ciertas longitudes de ondas que emiten los gases (de ahí su nombre espectro de emisión). De la misma forma entonces, cada elemento químico posee su propio espectro de emisión, por lo que

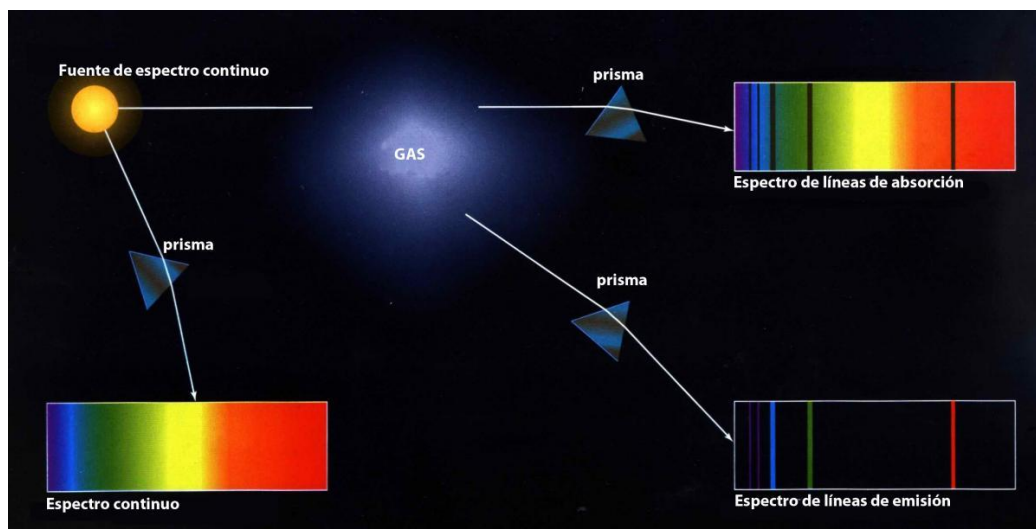
éste puede ser utilizado para identificar si dicho elemento es parte de un compuesto desconocido (Chang, 2002, p.252).

Figura 5: Espectro continuo, de emisión y de absorción de los materiales.



Fuente: Sánchez J. (2012). *Espectros atómicos. Emisión y absorción*. Extraído desde <http://elfisicoloco.blogspot.com/2012/11/espectros-atomicos-emision-y-absorcion.html>, consultado el día 16 de diciembre de 2020 a las 23:00 hrs.

Figura 6: Espectros continuos, de líneas de emisión y de absorción a partir de estrellas y gases.



Fuente: Villar M. (S/F). *Leyendo entre líneas (I)*. Extraído desde <http://www-revista.iaa.es/35/leyendo-entre-lineas-i>, consultado el 17 de diciembre de 2020 a las 00:10 hrs.

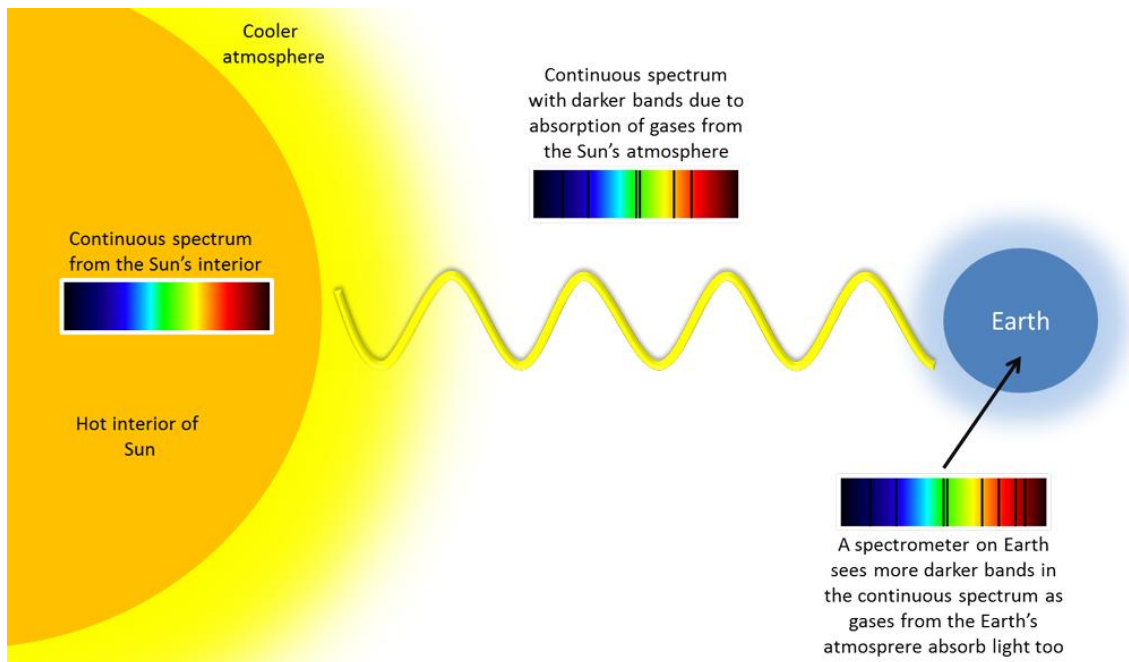
Cabe destacar, que cualquier elemento absorbe las mismas longitudes de onda que es capaz de emitir. De esta forma, si se junta el espectro de emisión y de absorción de un mismo elemento se construye nuevamente el espectro continuo.

Finalmente, todo lo anterior puede ser aplicado a objetos astronómicos. Como se puede observar en la figura 6 los gases más calientes emiten luz (incandescentes) consiguiéndose de ellos espectros de emisión, mientras que si se estudia la luz que pasa a través de gases fríos (no incandescentes) se obtienen espectros de absorción.

5.2 Descubrimiento de la composición de las estrellas

Cecilia Payne, al unirse al equipo de Pickering analizó los espectros de absorción de las estrellas. Para esto, lo primero que hay que entender es que las estrellas poseen una superficie llamada fotosfera más fría que el gas de su interior, el cual es más denso y caliente. De esta forma, su interior es capaz de producir luz de espectro continuo, pero al pasar a través de su fotosfera, ésta absorbe la luz de ciertos elementos presentes en ella. Finalmente, esta luz se hace pasar por el prisma del espectroscopio consiguiendo el espectro de absorción de dicha estrella.

Figura 7: Creación del espectro solar



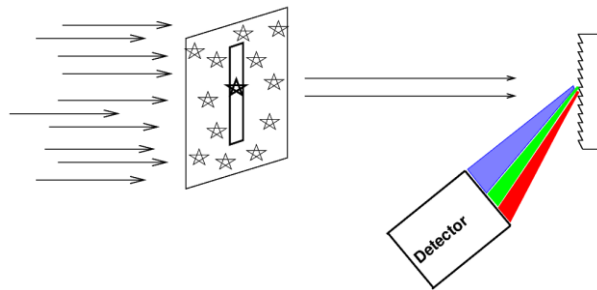
Fuente: Molnar M. (S/F). Spectroscopy. Extraído desde

<https://matyasmolnar.com/spectroscopy/>, consultado el 27 de diciembre de 2020 a las 01:00 hrs.

Sin embargo, hay que tener en consideración que la luz no solo pasa por la fotosfera de la estrella y llega al espectroscopio, sino también viaja a través del espacio penetrando la atmosfera de la Tierra en donde también se absorben ciertas longitudes de ondas, como se visualiza en la figura 7 para el caso del Sol (Molnar, S/F).

Cabe destacar que, para que la luz de la estrella que se desea estudiar no se mezcle con la luz de las demás, ésta se debe enfocar desde el plano focal del telescopio con una rendija como se muestra en la figura 8, para que solo se proyecte la luz de dicha estrella (Richmond, 2006).

Figura 8: Técnica astronómica, rendija sobre plano focal del telescopio centrada en el objeto de interés.



Fuente: Richmond M. (2006). *¿Cómo sabemos la composición de las estrellas?* Extraído desde http://spiff.rit.edu/richmond/asras/chemcomp_i/chemcomp_i.html, consultado el día 14 de diciembre de 2020 a las 14:00 hrs.

Tras conseguir los espectros estelares es posible comparar estas líneas o patrones con las de los espectros de cada elemento químico (determinados previamente en condiciones de laboratorio). De esta forma, los patrones de absorción de cada estrella sirven como una huella para identificar los elementos presentes en ella.

Entendido esto, podemos notar que, en los tiempos de Cecilia, esto no era una tarea sencilla, ya que como se mencionó anteriormente en estos espectros estelares también están presentes los elementos de la atmosfera terrestre, los cuales se deben diferenciar de los elementos presentes en las estrellas.

Antes de la investigación de Payne varios científicos pudieron averiguar la identidad de algunas de las líneas más fuertes en el espectro del Sol, y descubrieron que las líneas más prominentes del espectro solar se deben a elementos como: sodio, hidrógeno,

calcio, magnesio y hierro en exceso, concluyendo que la composición química de las estrellas, en particular del Sol, era similar a la de la Tierra (Richmond, 2006). Sin embargo, Payne comprendió que la fuerza de una línea de absorción dependía de la abundancia de algún elemento, pero que había otros factores que eran igual de importantes, o incluso más importantes que la intensidad de estos (Payne, 1925, p.177-178), poniendo en jaque las creencias del momento.

Dado que existen más factores que solo la intensidad de la línea de absorción, Payne realizó su investigación bajo el marco de la física cuántica. Para esto, hay que comprender que la naturaleza de la luz es dual, es decir, se puede estudiar como partícula u onda electromagnética, en donde al viajar como partícula, o como paquetes discretos de luz, estos son llamados 'fotones' o 'cuantos' (Sears, 2009, p.1122). De esta forma, Payne estudió los estados de energía cuántica de los átomos de la fotosfera de las estrellas, con los fotones de luz emitidos desde su interior. Para relacionarlos, utilizó la ecuación de ionización de Saha, la cual es una expresión que relaciona el estado de ionización de un gas, en nuestro caso el gas de la fotosfera de la estrella, en equilibrio térmico con la temperatura y la presión (Carroll y Ostlie, 2014, p.241-242).

Payne, demostró que los átomos de un elemento en particular de la fotosfera de una estrella, absorben los fotones de luz (o las longitudes de ondas) que viajan desde su interior, solo si los átomos están exactamente en un estado de energía atómica correcto. Esto quiere decir que, si un átomo del gas de la fotosfera está con un estado de energía atómica mínima o máxima, los fotones podrán atravesar el gas sin que éste los absorba. En ambos casos ese átomo no se ve visualizado en el espectro de absorción de la estrella, ya que los fotones nunca fueron absorbidos. Es decir, solo en un determinado estado de energía el gas logra absorber los fotones, siendo este el único caso en que se visualizan las líneas negras del espectro de absorción (Richmond, 2006).

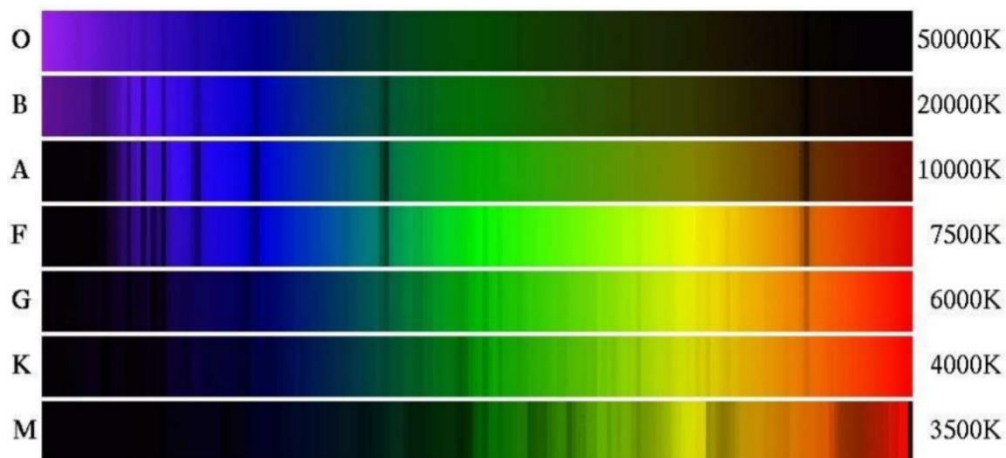
De esta forma, que un elemento aparezca intensamente en el espectro de una estrella, como, por ejemplo, "el hierro, que crea las líneas de absorción más intensas en el espectro solar, (...) [no significa que] sea necesariamente el tipo de átomo más abundante, puede haber millones de átomos 'durmientes' de algún otro tipo que están presentes, pero que simplemente no absorben la luz" (Richmond, 2006).

Payne, de cierto modo refutó la idea de la comunidad científica del siglo XX de que la composición de las estrellas era parecida a la de la Tierra, llegando a demostrar, a partir de la ecuación de ionización de Saha, que las estrellas se componen esencialmente de hidrógeno y helio, afirmando que los componentes de la Tierra y los de las estrellas son químicamente diferentes.

5.3 Descubrimiento de la temperatura de las estrellas

Por otro lado, la científica Annie Jump Cannon fue quien capturó y fotografió los espectros de absorción de las estrellas en la Universidad de Harvard en el equipo femenino de Pickering. Asimismo, al poseer diversos espectros estelares decidió clasificarlos con la taxonomía “O - B - A - F - G - K - M” en donde se situaban según la intensidad de los colores y los elementos de las líneas de los espectros de absorción. Como se puede ver en la figura 9, las estrellas clasificadas en el tipo O presentan más intensidad en las zonas del espectro donde las tonalidades son de color violeta, y menos intensidad en las tonalidades rojizas, en cambio las estrellas del tipo M presentan mayor brillo en la zona de color rojiza en comparación a la zona violeta (Carroll y Ostlie, 2014, p.241-242).

Figura 9: Espectro de las estrellas, con su taxonomía y temperatura.



Fuente: Vera R. (2016). *Espectros de emisión y absorción*. Extraído desde https://www.slideshare.net/Amon_Ra_C/espectros-de-emisin-y-absorcin, consultado el día 27 de diciembre de 2020 a las 03:00 hrs.

Estos espectros fueron estudiados por Payne cuando desarrollaba su tesis en Harvard. Allí notó que la clasificación de Cannon no solo se basaba en una taxonomía por el

espectro de absorción, sino que también representaba una secuencia de la temperatura de las estrellas y de las tonalidades de dicha estrella (Carroll y Ostlie, 2014, p.241-242).

Además, Payne demostró que las estrellas de alta temperatura presentan “átomos [que] se encuentran gradualmente en estados dobles o superiores de ionización, [en cambio en las estrellas] de baja temperatura, [...] los átomos no se elevan lo suficiente en la excitación; están ionizados, pero en el estado fundamental” (Wayman, 2002). De esta forma, la temperatura se relaciona con los estados de ionización de los átomos de la fotosfera de la estrella, por lo cual la temperatura también es un factor clave para determinar qué átomos y moléculas dejan sus huellas en su espectro. Concluyendo que las estrellas de tipo O son las más calientes y ese calor es el que:

“Ioniza el helio, algo muy difícil de hacer, ya que el gas retiene sus electrones con fuerza y detesta separarse de ellos. Los espectros de las estrellas M más frías están cubiertos por líneas familiares de absorción atómica de ‘metales’ (elementos distintos del hidrógeno y el helio) y líneas moleculares de óxido de titanio, moléculas de carbono e incluso agua” (King, 2016).

Por consiguiente, todo el trabajo de Cannon fue de muchísima ayuda en la investigación de Payne, en la cual logró demostrar la composición de las estrellas en conjunto con su temperatura y color, concluyendo que todas estas características se relacionan entre sí.

Con el tiempo se unieron otras clasificaciones como, por ejemplo, las del tipo L, T e Y que corresponden a enanas marrones que son mucho más frías que todas las anteriores. Además, también se agregaron subdivisiones en cada tipo de estrellas, enumeradas del 0 al 9 proporcionada por la científica Cannon. Por ejemplo, nuestro Sol es una estrella G2 con características entre G y F (King, 2016).

En el anexo 1, se puede visualizar la taxonomía de estrellas desde las de tipo O, las cuales poseen un color azul y que son las más calientes con temperaturas mayores a 33.000 K, hasta las estrellas más frías del tipo T que poseen un rango de temperaturas de 550 K - 1.300 K. Asimismo, se pueden ver las características más distintivas como, por ejemplo, los elementos presentes en las líneas oscuras de sus espectros. Cabe destacar que las del tipo L y T, son de otro tipo espectral, es decir, no emiten en el

espectro visible, pero si emiten intensamente en el infrarrojo, lo cual genera que sean de un color marrón muy oscuro, las de tipo T llegando a ser casi negras.

5.4 Reconocimiento y validación de la tesis de Payne

Como hemos visto, Cecilia Payne realizó su tesis en el observatorio de Harvard College, la cual expuso en el año 1925 bajo el nombre de “Stellar atmospheres: a contribution to the observational study of high temperature in the reversing layer of stars”, con su traducción al español “Atmósferas estelares: una contribución al estudio de observación de las altas temperaturas en las capas inversoras de estrellas”, en donde expone su utilización de la teoría de la ionización, desarrollada por el físico Meghnad Saha, logrando relacionar la clasificación espectral de las estrellas con sus temperaturas absolutas y comprobando que las estrellas están compuestas principalmente por hidrógeno y helio.

Sin embargo, a pesar de la gran investigación de Payne, la comunidad científica rechazó de inmediato los postulados de su descubrimiento, dado que en aquella época el paradigma era que las estrellas estaban compuestas químicamente de forma similar a la de la Tierra. Asimismo, su conclusión fue disputada, siendo ridiculizada frente a otros científicos. Uno de los científicos que más se opuso a su idea fue el astrónomo Henry Norris Russell, el cual defendía el paradigma de dicha época, afirmando que era “claramente imposible” que las estrellas estuvieran hechas de hidrógeno. Incluso, Russell llegó al extremo de persuadir a Payne para que modificara su conclusión en la tesis, a lo cual ella aceptó. Sin embargo, no modificó su tesis completamente, sino que solo agregó que, probablemente, sus conclusiones eran erróneas (López, 2017).

En el artículo de Astronomy & Geophysics publicado por Wayman (2002), se expone que Payne menciona en su discurso que:

“Las enormes abundancias derivadas de esos elementos en la atmósfera estelar casi con certeza no son reales. Probablemente, el resultado puede considerarse, para el hidrógeno, como otro aspecto de su comportamiento anormal [...] y el helio [...] posiblemente se desvía por razones similares. Las líneas de ambos átomos parecen ser mucho más persistentes, a altas y bajas temperaturas, que las de cualquier otro elemento”

En otras palabras, debido al rechazo de la comunidad científica, Payne se vio en la obligación de concluir que sus descubrimientos no eran precisos ni reales, debiendo buscar razones para invalidar su propia tesis, es decir, intentando justificar el por qué ni el hidrogeno ni el helio son los elementos más abundantes en la composición de las estrellas.

En el año 1929, con nuevos experimentos y descubrimientos en la ciencia, se concluyó que la tesis de Payne era correcta, e incluso el mismo científico Russell en el año 1929 cambió de parecer, reconociendo su error y afirmando que Payne tenía razón, más aún publicó algunos trabajos en los que defendía el descubrimiento de ella. Incluso otros dos astrónomos, Otto Struve y Velta Zeberg, que apoyaron a Payne, afirmaron que su tesis era “la mejor tesis de astronomía jamás escrita en la Historia” (López, 2017).

Payne, años después, de acuerdo a un artículo de El País redactado por Valdés y Rubio (2018), menciona en una entrevista que “tuve la culpa de no haber insistido en lo que creía. Me rendí cuando pensaba que tenía razón y ese es otro ejemplo de cómo no investigar. Un consejo para los jóvenes: si estás seguro defiende tu postura”.

Por otro lado, algunos científicos de aquella época se referían a la comunidad de mujeres que trabajaban en el observatorio de astronomía de Harvard bajo la tutela de Edward Pickering como el “harén de Pickering”, lo cual involucra a Cannon y Payne dentro de este “harén”. Desafortunadamente, ese nombre las descalificó y las desvaloró como propiamente científicas que eran, perjudicándolas y discriminándolas en su época, lo que repercutió en la validación de sus grandes descubrimientos (González, 2017, p.13).

Actualmente, se le atribuye el reconocimiento del descubrimiento de la composición y temperatura de las estrellas a la astrónoma Cecilia Payne, sin embargo, se demoró décadas en poder convencer a la comunidad científica de que su descubrimiento era cierto, dado las desvalorizaciones de famosos científicos como Russell. Además, tenía un factor en contra: el hecho de ser mujer, ya que generalmente en esa época se prefería mencionar que el descubrimiento había sido realizado por el grupo de Pickering o por el observatorio de Harvard College antes de decir que una mujer había realizado dicho descubrimiento, por la creencia machista de que una mujer no puede participar activamente en la ciencia.

5.5 La importancia de la composición y temperatura de las estrellas

Como mencionado en secciones anteriores, la tesis y el descubrimiento de Cecilia demoró años en ser aceptada, sin embargo, esa no fue razón para decir que haya sido un descubrimiento menor, e incluso su trabajo logró enseñar a distintos astrónomos a interpretar adecuadamente los espectros estelares (Valdés y Rubio, 2018)

La Sociedad Española de Astronomía (SEA) define el concepto de astronomía como el campo que se dedica a:

“estudiar las posiciones, distancias, movimientos, estructura y evolución de los astros [...]. La astronomía abarca dos ramas principales: la astronomía clásica (que comprende la mecánica celeste y la astronomía de posición) y la astrofísica (que comprende todo lo demás). Casi toda la investigación astronómica moderna queda incluida dentro de esta última rama y por este motivo, en la actualidad, los términos astronomía y astrofísica funcionan como sinónimos”

De esta forma, se puede decir que la astronomía se basa en la observación de los astros, y la astrofísica en el estudio físico de las leyes que describen el universo con la observación de estos astros, por lo que antiguamente ambos términos eran independientes, pero en la actualidad, es imposible estudiar con rigor las estrellas o las galaxias sin el apoyo de las leyes físicas que las gobiernan, así ambos términos trabajan a la par siendo sinónimos.

Dado lo anterior, el trabajo de Payne y Cannon contribuyó sustantivamente a sentar las bases de la astrofísica moderna con el descubrimiento de la composición química y la temperatura de las estrellas (González, p.13). Ya que al estudiar a las estrellas no solo podemos proveer datos sobre los parámetros físicos de éstas, sino que también podemos comprender cómo evolucionan en sus diferentes etapas. Es decir, comprender que una estrella nace de una nube de gas que, si es lo suficientemente grande, comienza a contraerse consumiendo hidrógeno mediante procesos de fusión nuclear que lo convierten en helio. Al "quemarse" el hidrógeno, la contracción se detiene, y en este momento, el gas se convierte en estrella. Después de billones de años, la mayoría del hidrógeno que es su combustible se ha "quemado", y la estrella comienza a contraerse

de nuevo. Como se le agotó el hidrógeno, debe usar un nuevo combustible, el helio, generando partículas de carbono y oxígeno, aquí es donde la estrella cambia de etapa a gigante roja, la cual es ahora mucho mayor que al principio. Así, etapa tras etapa, implosionan, y cuando se les acaba el combustible llegan al final de su vida, en donde desprenden sus capas, llamadas ahora nebulosas planetarias, y el centro de la estrella se convierte en una enana blanca (Russell, 2005).

Asimismo, el descubrimiento ayudó a estudiar las diferentes galaxias presentes en el universo, dado que éstas están hechas básicamente de estrellas. También poseen polvo y gas interestelar, pero las estrellas son como las “células” de las galaxias y, por lo tanto, estudiando a las estrellas, se permitió adquirir mayor conocimiento de la historia y de la evolución de nuestro gran Universo, también dando paso a contribuir a las respuestas de las diversas interrogantes acerca de éste (Gatica, 2018).

Por otro lado, la importancia de este descubrimiento no solo repercutió en el mundo científico, sino también al mundo social. Payne fue la primera mujer en presentar una tesis doctoral de astronomía en el observatorio de Harvard y la primera mujer en trabajar dirigiendo un departamento en aquella universidad (el de astronomía). Este hecho hizo posible un cambio dentro de la Universidad respecto de la imagen de la mujer en la ciencia, lo cual dio paso a que diversas universidades también se unieran a tomar iniciativas de incorporación de la mujer en la ciencia, y que a través de los años ya no se vieran mayormente discriminadas ni rechazadas dentro de una universidad solo por su sexo, aumentando de esta manera la posibilidad de que una mujer pudiera tomar roles directivos, como científicos dentro de las distintas áreas de la ciencia (Cobos, 2019).

De igual manera, Payne al ser una mujer que nunca se rindió a sus sueños, pese a sufrir grandes barreras de discriminación y rechazo por parte de las universidades y de los científicos debido a su género femenino, logró ser una gran inspiración para miles de mujeres que tomaron la decisión de ingresar a carreras científicas y ejercer en ese campo laboral (BBC, 2019).

6. CONCLUSIONES

En relación con lo expuesto en esta monografía, se puede asegurar que la inclusión de las mujeres en las universidades y en la ciencia fue tardía en comparación a la situación masculina, lo cual fue causado por la gran discriminación y el rechazo por parte de los hombres, además, de las pocas oportunidades que tenían las mujeres en aquella época. En otras palabras, su tardía incorporación se debió a la misoginia sistemática presente en la sociedad desde sus inicios.

Cabe destacar, que incluso cuando diversas mujeres tuvieron la oportunidad de ingresar a las universidades, o de participar en investigaciones científicas de forma expedita, se presentaron otras diversas barreras al no brindarles el reconocimiento de participación que merecían en esas investigaciones científicas ni en los grandes descubrimientos realizados. Asimismo, tampoco se les brindó el reconocimiento ni validación de los grados académicos en diversas universidades, pese a tener todos sus estudios aprobados, lo que también generó poca motivación en las mujeres por ingresar a una universidad, aunque tuvieran ya el acceso permitido, debido a que su título no sería reconocido ni validado, por lo que no podrían tampoco ejercer en el campo laboral científico.

Otra desafortunada desventaja que ha sufrido la mujer es que la historia ha sido escrita exclusivamente por hombres, por lo que generalmente las mujeres no están presentes en ella. Si la mujer hubiera podido tener acceso a esta historia, en la actualidad conoceríamos a muchas grandes científicas que ahora han quedado en el olvido de la sociedad y su historia.

Se puede afirmar además que la baja inserción de la mujer en la ciencia no se debe en ningún caso a falta de competencia o interés, ya que como hemos visto, Payne fue una mujer con mucha pasión y talento que no se rindió a sus sueños. Pese a enfrentar diversas dificultades a lo largo de su carrera, logró realizar un descubrimiento inigualable al descubrir la composición estelar y su temperatura lo que ayudó a sentar las bases de la astrofísica moderna. De esta forma, la mujer es una pieza fundamental en las grandes investigaciones y descubrimientos, como lo fueron Payne y Cannon, pero al negarles el acceso, tanto la historia como el conocimiento han quedado estancados en el pasado. Si la sociedad hubiera aceptado a las mujeres desde los inicios actualmente

comprenderíamos de mejor manera el universo e incluso los diversos ámbitos de la vida e historia de los seres vivos que los científicos actuales aún no pueden descifrar. Por otra parte, está claro que muchas mujeres científicas y talentosas se han perdido a lo largo de la historia por habérseles negado el derecho de estudiar en una universidad y no poder ejercer como científicas.

El camino de la mujer a lo largo de la historia, como hemos visto, no ha sido fácil: una lucha constante de barreras impuestas por la sociedad misógina. Si bien en la actualidad muchas de estas diferencias entre sexos han sido subsanadas, esto no da paso a que dejen de existir muchas tareas aún por completar acerca de este tema. Se debe seguir incentivando y promoviendo la inserción de la mujer tanto en las universidades como en mundo científico y social, pues incluso hasta el día de hoy se observan diferencias significativas en la presencia de la mujer en el mundo de la investigación científica. Que siga existiendo una baja incorporación de mujeres en la inscripción de las carreras científicas de las universidades en la actualidad no es coincidencia, sino que existe una prueba verificable que data de siglos atrás con el rechazo y las pocas oportunidades que se les brindaron, y que en la actualidad aún se mantienen. Es cierto que cada vez son más mujeres las que se están incorporando, pero aún se sigue manteniendo esta brecha entre los hombres y mujeres en la actualidad.

Asimismo, es importante nivelar esta brecha y disminuir las tasas de discriminación y rechazo hacia la mujer, entendiendo de una vez que las mujeres no son inferiores ni menos talentosas que los hombres, y que en conjunto se pueden lograr incluso mejores descubrimientos que los realizados exclusivamente por los hombres en la sociedad.

7. REFERENCIAS

- BBC, (2019). *Cecilia Payne-Gaposchkin, la mujer que descubrió de que están hechas las estrellas (y desafió el machismo en la ciencia)*. BBC News Mundo [online]. Recuperado el 29 de diciembre de 2020 de: [\[click aquí\]](#)
- Carroll, B. W. & Ostlie, D. A. (2014). *An Introduction to Modern Astrophysics*. Second Edition. Pearson Education Limited. Cambridge University Press. ISBN-10: 1-292-02293-0
- Chang, R., & Collage, W. (2002). *Química*. Séptima edición. Mc. Graw Hill, Interamericana Editores, S.A. de C.V. México, D.F. ISBN 0-07-365601-1
- Cobos, E. (2019). *Cecilia Payne, la mujer que descubrió la composición de las estrellas, protagonista en el Museo de Ciencias Universidad de Navarra* [online]. Recuperado el 29 de diciembre de 2020 de: [\[click aquí\]](#)
- Díaz, E. & Zandivarez, A. (2014). *¿Cuánto sabés del universo? Apuntes básicos sobre Astronomía*. Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (CONICET) Observatorio Astronómico de Córdoba (UNC). ISBN 978-987-33-5816-6. Disponible en: [\[click aquí\]](#)
- Gatica, G. (2018). *¿Por qué es importante el estudio de las estrellas?* [online]. Recuperado el 29 de diciembre de 2020 de: [\[click aquí\]](#)
- González, M. I. (2017). *Ciencia tecnología y género*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Asunción: Paraguay. ISBN 978-99967-867-0-9. Disponible en: [\[click aquí\]](#)
- King, B. (2016). *Spectral types for spring nights* [online]. Recuperado el 27 de diciembre de 2020 de: [\[click aquí\]](#)
- López, A. (2017). *Cecilia Payne-Gaposchkin: “La astrónoma que descubrió la composición de las estrellas”* [online]. Recuperado el 13 de diciembre del 2020 de: [\[click aquí\]](#)

- Molnar, M. (S/F). *Spectroscopy*. [online]. Recuperado el 27 de diciembre de 2020 de: [\[click aquí\]](#)
- Palermo, A. I. (1998). *Participación de las mujeres en la Universidad*. La Aljaba, segunda época, 3, 94-110.
- Palermo, A. I. (2006). *El acceso de las mujeres a la educación universitaria*. Revista argentina de sociología, 4(7), 11-46. ISSN 1667-9261.
- Payne, C. (1925). *Stellar atmospheres: A contribution to the observational study of high temperature in the reversing layers of stars*. Tesis (Ph. D.) Radcliff college. Cambridge, Mass: The Observatory. Harvard Observatory Monographs. 1925PhDT 1P. Disponible en: [\[click aquí\]](#)
- Richmond, M. (2006). *¿Cómo sabemos la composición de las estrellas?* [online]. Recuperado el 13 de diciembre del 2020 de: [\[click aquí\]](#)
- Russell, R. (2005). *Ciclo de vida de las estrellas* [online]. Recuperado el 28 de diciembre del 2020 de: [\[click aquí\]](#)
- Rutten, R. J. (2018). *Stellar Spectra A. basic line formation*. Institutt for Teoretisk Astrofysikk, Oslo. Disponible en: [\[click aquí\]](#)
- Sears, F. W., & Zemansky, M. W. (2009). *Física universitaria, con física moderna*. Vol. 2. Decimosegunda edición. Pearson Education Limited, México. ISBN: 978-607-442-304-4.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2009). *Física: Para ciencias e ingeniería con Física Moderna*. Vol. 2. Séptima Edición. Cengage Learning. México, D.F. ISBN-10: 607-481-358-2.
- Sociedad Española de Astronomía (2009). *100 conceptos básicos de Astronomía*. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. Edycom, S.L. NIPO: 078-09-002-6. Disponible en: [\[click aquí\]](#)

- UNESCO (2017). *Descifrar el código: La educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM)*. ISBN 978-92-3-300107-7. Disponible en: [\[click aquí\]](#)
- Valdés, I. & Rubio, I. (2018). *Cecilia Payne-Gaposchkin. Mujeres de la ciencia*. Ediciones El País, S.L. Madrid, España. Disponible en: [\[click aquí\]](#)
- Van den Eynde, Á. (1994). *Género y ciencia, ¿términos contradictorios? Un análisis sobre la contribución de las mujeres al desarrollo científico*. Revista Iberoamericana de Educación, 6, 79-101.
- Vilte, M. D. S., & Perales, M. A. (2007). *Pioneras de la ciencia: “ellas hacen física”*. Universidad Nacional De Salta. ANALES AFA, 19(1). ISSN 1850-1158
- Wayman, P. A. (2002). *Cecilia Payne-Gaposchkin: astronomer extraordinaire*. Astronomy & Geophysics, 43(1).

7. ANEXO 1

Tabla 1: Clasificación espectral de Harvard.

<i>Tipo Espectral</i>	<i>Características</i>
O	Azul más caliente (≥ 33.000 K) Presentan pocas líneas en su espectro Líneas intensas de absorción (a veces de emisión) de He II.
B	Azul-blanco caliente (10.000 K – 33.000 K) Las líneas de absorción son más intensas en B2. Las líneas de absorción H I (Balmer) se vuelven más intensas.
A	Blanco (7.500 K – 10.000 K) Las líneas de absorción de Balmer son más fuertes en A0 y se debilitan más tarde. Las líneas de absorción de Ca II se vuelven más fuertes.
F	Amarillo-blanco (6.000 K – 7.500 K) Las líneas de Ca II continúan fortaleciéndose a medida que las líneas Balmer continúan debilitándose. Líneas de absorción de metales neutrales (Fe I, Cr I).
G	Amarillo (5.200 K – 6.000 K) Espectros de tipo solar. Las líneas Ca II siguen fortaleciéndose. Fe I, otras líneas metálicas neutrales cada vez más fuertes.
K	Naranja frío (3.700 K – 5.200 K) Las líneas Ca II H y K son más fuertes en K0 y se debilitan más tarde. Espectros dominados por líneas de absorción de metales.
M	Rojo frío (2.000 K - 3.700 K) Espectros dominados por bandas de absorción molecular, especialmente óxido de titanio (TiO) y óxido de vanadio (VO). Las líneas de absorción de metales neutrales se mantienen fuertes.
L	Rojo oscuro, muy frío (1.300 K – 2000 K) Más fuerte en infrarrojos que visible. Fuertes bandas de absorción molecular de hidruros metálicos (CrH, FeH), agua (H ₂ O), monóxido de carbono (CO) y metales alcalinos (Na, K, Rb, Cs). TiO y VO se están debilitando.
T	Infrarrojo, más frío (550 K - 1.300 K) Bandas fuertes de metano (CH ₄) pero bandas de CO debilitadas.

Fuente: Carroll, B. W., & Ostlie, D. A. (2014). An Introduction to Modern Astrophysics. Segunda Edición. Capítulo 8, p.233.