¿POR QUÉ LOS HIJOS SE PARECEN A LOS PADRES?: UNA MIRADA DESDE LA HERENCIA BIOLÓGICA

JUAN CARLOS BURGOS ROJAS
SANDRA MILENA HERNÁNDEZ BUITRAGO

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ, COLOMBIA
2016

¿POR QUÉ LOS HIJOS SE PARECEN A LOS PADRES?: UNA MIRADA DESDE LA HERENCIA BIOLÓGICA

JUAN CARLOS BURGOS ROJAS
SANDRA MILENA HERNÁNDEZ BUITRAGO

Trabajo de grado presentado para optar al título de:
Magíster en Docencia de las Ciencias Naturales

Asesores:
GRUPO DE INVESTIGACIÓN ECO- PERSPECTIVAS
Olga Méndez Núñez
Steiner Valencia Vargas

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ, COLOMBIA
2016

AGRADECIMIENTOS

A la vida, que nos ha dado la oportunidad de culminar la labor que con convicción, entusiasmo y entrega comenzamos.

A la energía del universo, que fluyó para poner en nuestro camino a cada uno de los amigos, profesores y personas, que con su cariño, confianza, paciencia, ternura, fortaleza, animo, conocimientos, entrega, bondad, trabajo, y otro sinnúmero de cualidades, hicieron posible este sueño.

A nuestras adoradas abuelas, padres, hermanas, hermanos, tías, primos, y demás familiares, que han creído siempre en nosotros y por quienes somos personas luchadoras y respetuosas del mundo que nos circunda.

A nuestros queridos asesores, profesor Steiner y profesora Olga, quienes pusieron su voto de confianza en nuestro trabajo y que sin reservas, compartieron sus conocimientos, animo, tiempo, paciencia y sentido del humor.

A nuestros cinco hijos, Luna, Gaia, Cielo, Orión y Estrella, quienes soportaron con paciencia nuestras ausencias y que con sus hermosos ojos, caricias y ronroneos, nos dieron fuerza cuando nos sentíamos apesadumbrados y agotados.

A nuestros estudiantes, que son la razón de ser de nuestra labor y una de las principales motivaciones que nos llevaron a recorrer este camino.

A cada uno de los investigadores citados en este trabajo, porque sin su vida, dedicación y obras, nada de lo aquí plasmado hubiese sido posible.

DEDICATORIA

A mi madre Martha, cuyo amor y vitalidad
son el fundamento de mi vida.
A mis tías Mary y Fernanda, por su incondicional apoyo, cariño y guía.
A mi hermana Leidy, que con su cariño y humor nos contagia de alegría.
En especial, a mi abuelita Carmen, en cuyo rostro
se recrea todo el amor y la belleza que encarna el universo

Juan Carlos Burgos Rojas

Dedico el producto de mis esfuerzos y mis anhelos, al mundo que me circunda; a cada uno de los seres que han compartido hasta el más breve momento de mi existencia. A aquellos, que sin requerir nombres específicos, han aportado grandes experiencias y me han llevado a ser quien soy, con mis defectos y mis virtudes. A la vida, por sacudirme y a la vez darme una nueva oportunidad para cumplir mis sueños y ser aún más feliz.

Sandra Milena Hernández Buitrago

EL TAPIZ DE BAYEUX, bordado en el siglo XI, es una gigantesca obra de tapicería, de unos setenta metros de largo**.** Es también conocido en Francia como Tapiz de la reina Matilde y considerado como la obra textil más importante del mundo medieval, que relata mediante una sucesión de imágenes con inscripciones en latín, los hechos que precedieron a la conquista de Inglaterra por los normandos en conmemoración de la Batalla de Hastings, y que acontecieron entre 1064 y 1066, cambiando el curso de la historia de las naciones francesa y británica. Tomado de: http://arelarte.blogspot.com.co/2009/04/el-tapiz-de-bayeux-un-documento.html

EN EL TAPIZ…

Una mujer y un hombre, con los primeros rayos del sol, se observan frente al tapiz de sus vidas. En el han plasmado el detalle de sus rostros, su piel con superficies sinuosas llenas de vida y las grietas inconmensurables moldeadas por el sol, el viento y la lluvia. Prominentes labios sobresalen expectantes, tienen mucho que contar, aunque les falten palabras. Sus ojos profundos se asoman inquisidores y anhelantes por reconocer a quien se presenta ante sí. Un primer rayo gris evocador se asoma presagiando una madeja de hilos argénticos con la calidez del medio día y el abrigo del sol.

Hombres y mujeres de milenarios mares, ríos, bosques, laderas, pantanos y páramos, sobresalen del tejido para besarles la frente y tomarlos de la mano. En la profundidad de la pupila se expande un universo, donde niños, niñas, hombres y mujeres mutan caminando por interminables e insondables pasajes, que de vuelta conducen a los rostros que buscan descifrar el tapiz.

¿Qué historias se esconden bajo su piel?

¿Cuáles se escribirán por su pluma?

¿Qué trazos se dibujarán sobre las rugosidades del papel?

En el trasfondo, animales multiformes se prolongan hasta tocar las yemas de sus dedos, le susurran al oído "potencialidad", recordándoles lo que han sido y todo lo que pueden llegar a ser. Les invitan a hincarse, a moverse con los elementos a resistirlos y/o a dialogar con ellos. En sus manos depositan el legado milenario, aquel que es el fuego que emerge desde sus entrañas.

¿Cuánto está oculto a sus ojos?

Con el primer café de la mañana, luego de la agitación por despertar del sueño profundo, hombre y mujer dialogan y recuerdan que sus acciones hacen eco en la humanidad.

¿Qué nos hace ser lo que somos?

Un indicio está en sus ojos, formas, funciones y comportamientos y tras lo que esconden: esos hilos que se trenzan entre continuidades y discontinuidades, circunscribiéndose a la vez entre un vaivén de finalidades, mecanismos, necesidades, contingencias, estabilidades y variaciones, que son la trama del tapiz que representa su trasegar por el mundo.

¿Cómo llegamos a ser lo que somos?

Antes de continuar la vida que diariamente se avecina como un torbellino de experiencias que desvía la mirada de los rostros, echan un breve vistazo al tapiz, en el que se reflejan como un espejo, que muestran los rastros de sinnúmero de antepasados: tatarabuelos, abuelos, padres… todos han dejado su huella en lo que hombre y mujer son ahora.

Pero ¿cómo han logrado trazar estas marcas sobre la piel haciendo que se perpetúen en su historia?

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL	**FORMATO**
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE
Código: FOR020GIB	**Versión: 01**
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	**Página 7 de 198**

1. **Información General**	
Tipo de documento	Tesis de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Titulo del documento	¿Por qué los hijos se parecen a los padres? Una mirada desde la Herencia Biológica
Autor(es)	Burgos Rojas, Juan Carlos; Hernández Buitrago, Sandra Milena
Director (es)	Méndez Núñez, Olga; Valencia Vargas, Steiner
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2016. 198 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	HERENCIA BIOLÓGICA, GENÉTICA, ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES, PROLEMAS DE CONOCIMIENTO

2. **Descripción**
El tapiz de Bayeux, representación icónica de la historia francesa, surgió de hilos que se entretejen en un entramado complejo y que presentan una discontinuidad en la historicidad de este pueblo. La metáfora del tapiz nos permite exponer las construcciones alcanzadas en el presente escrito sobre la herencia biológica, en el marco de un trabajo de profundización en el que se aborda la pregunta ¿Por qué los hijos se parecen a sus padres? y cuyo desarrollo se estructura en cuatro apartados: el telar, la urdimbre, el tapiz y descifrando el tapiz.

En el telar se provee el marco que anuda una serie de interrogantes frente a la enseñanza tradicional de la genética en la Educación Básica Secundaria. Que puede ser revaluada, a partir de la profundización en los supuestos históricos, epistémicos, experimentales y disciplinares que han hecho de la herencia un problema de conocimiento biológico, hilos que se presentan en la Urdimbre. La complejidad del tejido la proporciona la trama, formada por duplas como la finalidad/mecanismo, la necesidad/contingencia, la estabilidad/variación y la continuidad/discontinuidad, que atraviesan la urdimbre.

El tapiz obtenido relaciona criterios pedagógicos y didácticos, que permiten la estructuración e implementación de una propuesta de aula. El desciframiento de este tapiz, permite una reflexión sobre la necesidad de desarrollar una crítica contextual de la herencia, abriendo una gama de posibilidades pedagógicas, que contribuirán a que los estudiantes puedan comprender a los seres vivos como entidades únicas, maravillosas y complejas. Esto implica reconocer que las explicaciones y los objetos de análisis de la genética no se han agotado, en su lugar se abre un amplio espectro de preguntas, ante las cuales se deben formar criterios, tomar posturas y decisiones informadas, como ciudadanos responsables y comprometidos con su medio y su futuro.

3. **Fuentes**

El trabajo presenta 56 referencias bibliográficas, de las cuales extraemos las siguientes:

ALBARRACÍN, T. 1983. La teoría celular. Madrid: Alianza Editorial. Pág. 11 – 187.

ANTOINE, J. 2004. Genoma y bioética: una visión holística de cómo vamos hacia el mundo feliz que nos prometen las biociencias. Acta Biosthica , 131 -141.

ATKINS, P. 2009. El dedo de Galileo: las diez grandes ideas de la ciencia. Madrid: Espasa. Pág.

AYUSO, G. & BANET, E. 2002. Alternativas a la Enseñanza de la Genética en Educación Secundaria. Enseñanza de las ciencias: 20 (1), 133-157.

FOUCAULT, M. 1968. Las palabras y las cosas: una arqueología de las ciencias

humanas. Argentina: Siglo XXI. 14a Edición. Pág. 7.

FOUCAULT, M. 1970. La arqueología del saber. México: Siglo XXI. Pág. 4 – 12.

FOUCAULT, M. 1968. Nietzsche, la genealogía, la historia. México: Siglo XXI. Pág. 76.

JACOB, F. 1982. El juego de lo posible. Barcelona: Grijalbo.

JACOB, F. 1998. El ratón, la mosca y el hombre. Barcelona: Grijalbo Mondaroni.

JACOB, F. 1999. La lógica de lo viviente; Una historia de lo viviente. Barcelona: Metatemas 59.

4. **Contenidos**

En el primer apartado, denominado el telar se configura el problema, la hipótesis, los objetivos, junto con la metodología empleada en el desarrollo del presente trabajo. Se parte de diversos interrogantes relacionados con el papel del maestro y la forma cómo se relaciona con el marco conceptual, las estrategias didácticas que emplea en la enseñanza de la genética, las condiciones experimentales y cognitivas que llevan a un estudiante a que lo que aprenda tenga un significado, la divulgación en los medios de comunicación de los avances científicos en el campo de la genética y los elementos que llevan a un comportamiento desinformado y apático frente a las repercusiones de los avances en el campo de la genética a pesar de enseñar sus fundamentos en la escuela.

Todos estos elementos proporcionan los soportes desde los cuales se perfila la siguiente hipótesis: *Si los maestros profundizan en los supuestos históricos, epistémicos, experimentales y disciplinares que han hecho de la herencia un problema de conocimiento biológico, desarrollarán criterios pedagógicos y didácticos para hacer más significativas sus prácticas de enseñanza de las ciencias y la formación ciudadanos críticos frente a los nuevos productos de la genética.*

En este contexto, el objetivo general pretende *dar cuenta de los supuestos teóricos y experimentales que han hecho de la herencia un problema de conocimiento biológico*. Para materializarlo, se focalizan las acciones en *profundizar teóricamente a partir del*

siglo XVI y hasta la mitad del siglo XX, los supuestos teóricos y experimentales que han hecho de la herencia un problema de conocimiento biológico; y *definir criterios pedagógicos y didácticos que orienten el diseño, implementación y sistematización de una propuesta en torno a la herencia biológica*, que la hilen de forma contextualizada en la trama compleja en la que se constituye el aula.

De esta forma, se acude a Jacob (1999) para explicar los supuestos teóricos y experimentales desde dos órdenes o tendencias de la biología: la integrista o evolucionista y la tomista o reduccionista. En la primera tendencia el organismo se estudia como una unidad no disociable en sus constituyentes, inmerso en un sistema de orden superior como la especie, la población, la familia ecológica. En la segunda tendencia el organismo es un todo que debe explicarse sólo por las propiedades de sus partes. La mirada se dirige al interior del organismo, el órgano, los tejidos, las células y las moléculas. En este contexto las funciones se explican a través de la estructura.

La urdimbre postula los elementos de orden teórico y experimental que para los autores, posibilitaron la constitución de la herencia como un problema de interés biológico: la reproducción de los organismos, la teoría celular, la teoría evolutiva y la materialidad de la herencia. En la trama, que en la metáfora constituye los elementos que atraviesan la urdimbre y le proveerán una estructura al tejido, se analiza el trasfondo de las tensiones en una serie de diadas descritas de la siguiente forma: continuidad frente a discontinuidad; finalidad frente a mecanismo; la necesidad frente a contingencia; estabilidad frente a variación.

Una vez desarrollados estos criterios teóricos, experimentales y epistemológicos en torno a la constitución de la Herencia como un problema de conocimiento para la biología, se desarrollo una propuesta de aula denominada el tapiz, como un ejercicio de interacción entre los saberes que confluyen en el aula y desde los cuales se puede reflexionar sobre las prácticas de enseñanza.

5. **Metodología**

El presente es un trabajo de profundización en el que la lectura comparada de diversos autores permite abordar la herencia biológica desde el enfoque de la historicidad de los conceptos y desde el cual se analiza la obra de François Jacob (1982, 1998, 1999) y se delimitan y trazan los hilos que serán la columna vertebral del escrito. De igual forma, se acudió a los trabajos y apreciaciones de Atkins (2009), Drouin (1991), González (2001), López (1992, 2002), Sturtevant (1995), Mendel (1865), Watson (1968), Albarracín (1983), Claros (2015), Melo (2013), Schrödinger (1944), Castro (2013), Monod (1970), Piro (2012), entre muchos otros, y en especial de Michel Foucault (1968, 1970, 1988). De este último se recoge el concepto de *Episteme* que dotará de sentido a cada una de las construcciones que se alcanzan, y desde los cuales se desarrolla lo que se denominó la Urdimbre y la Trama, en donde se recogen, después de disertaciones y profundos cuestionamientos, los fundamentos epistemológicos, históricos y experimentales bajo los cuales se constituyó la herencia biológica como un problema de conocimiento.

Bajo dichos supuestos se planea y desarrolla una propuesta de aula diseñada con criterios pedagógicos y didácticos que permiten asumir la herencia biológica como un problema de conocimiento en el aula. Los problemas de conocimiento en el aula se asumen desde la perspectiva de Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez (2003). Dicha propuesta, tiene una duración aproximadamente 30 horas y se divide en tres fases estructuradas de acuerdo con los tres ejes fundamentales que dieron paso a la problematización de la herencia biológica y que actuaron como situaciones desencadenantes: Del todo a la parte y de la parte al todo (teoría celular); Uno mas uno son tres (reproducción); y ¿por qué los hijos se parecen a sus padres? (trabajo de Mendel, Teoría cromosómica, estructura del material genético).

6. **Conclusiones**

En términos generales, fortalecer en los estudiantes su acercamiento a las complejidades teóricas y experimentales, que han llevado a la herencia a convertirse en un problema de estudio para el conocimiento biológico, permiten entretejer sus construcciones con las de sus compañeros. Reviste especial importancia la observación en el microscopio, las descripciones, las explicaciones, la interacción con el otro y las preguntas que de esta surgen, en el marco de la profundización de sus representaciones y la forma en que éstas se integran en su noción de organismo.

Como maestros al mejorar o cualificar las prácticas de la enseñanza en problemas relativos a la biología y en aspectos relacionados con la genética, resulta significativa la profundización en aspectos teóricos, experimentales y epistemológicos, ya que dota de un referente conceptual desde el cual se pueden abordar las preguntas, las polémicas y las alternativas de resolución derivadas de su estudio. De esta manera se proponen unos criterios para orientar la enseñanza de la Herencia Biológica en la Secundaria:

1. Criterios teóricos y experimentales que permiten pensar la constitución de la herencia como un problema de conocimiento biológico

El trabajo aborda las discontinuidades, las preocupaciones y las emergencias que posibilitaron una nueva comprensión de los organismos. Es a partir de dichas discontinuidades, desde las cuales se realiza un ejercicio reflexivo que, puesto en el aula, permite problematizar la herencia biológica, generando una nueva visión de los objetos de estudio, de las tensiones que surgen y de cómo estas permiten plantear criterios para explicar las nuevas tecnologías, sus aplicaciones en el terreno biológico y los cambios culturales y sociales en los cuales estamos inmersos. Esto lleva a asumir la ciencia como una actividad de la cultura que está en continua remodelación, no es un producto ya terminado, sino que está en relación con una forma de representación del mundo.

2. Criterios pedagógicos y didácticos que permiten al maestro orientar sus prácticas de enseñanza en lo referente a la herencia biológica

Los criterios pedagógicos y didácticos permiten al maestro orientar las prácticas de enseñanza, reconociendo las singularidades en las que se desarrollan sus propuestas de clase y que van mucho más allá del simple rol de administrador del currículo, encargado de desarrollar contenidos. Estos criterios, enfocados en la perspectiva de problemas de conocimiento propuesta por Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez (2003), reconocen el papel de los interrogantes, las formas concertadas de resolverlos y la comunicación, en la que no solamente se propende por la selección y análisis de información, sino por la construcción de sentido en cada una de las actividades.

Elaborado por:	Juan Carlos Burgos Rojas Sandra Milena Hernández Buitrago
Revisado por:	Olga Méndez Núñez Steiner Valencia Vargas

Fecha de elaboración del Resumen:	13	junio	2016

TABLA DE CONTENIDO

EXORDIO 18
INTRODUCCIÓN 21
1. EL TELAR 24
2. LA URDIMBRE 42
2.1. DE LA GENERACIÓN AL HILO DE LA REPRODUCCIÓN DE LOS ORGANISMOS 45
2.1.1. La generación 46
2.1.2. La especie 50
2.1.3. La reproducción 51
2.2. EL HILO DEL MUNDO VIVIENTE: TEORÍA CELULAR 54
2.3. EL HILO DE LA TEORÍA EVOLUTIVA 63
2.4. EL HILO DE LA HERENCIA 67
3. LA TRAMA 91
3.1. CONTINUIDAD FRENTE A DISCONTINUIDAD 92
3.2. FINALIDAD FRENTE A MECANISMO 98
3.3. NECESIDAD FRENTE A LA CONTINGENCIA 100
3.4. ESTABILIDAD FRENTE A LA VARIACIÓN 102
4. EL TAPIZ 106
4.1. FASE 1. DEL TODO A LA PARTE Y DE LA PARTE AL TODO 108
4.1.1. Guía 1. Del germen a la célula 109
4.1.2. Guía 2. Lo vivo a través del lente 112
4.2. FASE 2. UNO MÁS UNO SON TRES 114
4.2.1. Guía 1. *Omnis celulla ex celulla* 115
4.2.2. Guía 2. La historia vuelve a comenzar 117
4.2.3. Guía 3. Génesis 118
4.2.4. Guía 4. Vida, tinta y pluma 122
4.3. FASE 3. ¿POR QUÉ LOS HIJOS SE PARECEN A SUS PADRES? 123
4.3.1. Guía 1. Los hijos se parecen a sus padres. 123
4.3.2. Guía 2. En el monasterio se forja la herencia 126
4.3.3. Guía 3. ¿Qué se transmite de padres a hijos? 128
4.3.4. Guía 4. Amalgama 131
4.4. LAS EPISTEMES QUE SUBYACEN EN LAS EXPLICACIONES 134
5. DESCIFRANDO EL TAPIZ 139
BIBLIOGRAFÍA 148

ANEXOS 156
ANEXO 1. PRESENTACIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA DE AULA 156
ANEXO 2. FASES Y GUÍAS QUE INTEGRAN LA PROPUESTA DE AULA ... 162

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Construcción del telar..... 24
Ilustración 2. Esquema general de las fases de la propuesta..... 37
Ilustración 3. Los hilos que conforman la urdimbre y la trama..... 44
Ilustración 4. Fotografías de difracción de rayos-X de ADN-A y del ADN-B..... 83
Ilustración 5. Elementos desde los cuales se bosqueja el problema de la herencia y que parecían contradictorios por lo menos hasta la segunda mitad del siglo XIX.. 92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre las tendencias de la biología 44

Tabla 2. Máximas conductoras generales y medios auxiliares especiales propuestos por Schleiden 57

Tabla 3. Descripción de la fase uno con cada una de sus guías..... 156

Tabla 4. Descripción de la fase dos con cada una de sus guías..... 157

Tabla 5. Descripción de la fase tres con cada una de sus guías..... 158

EXORDIO

En la oscuridad buscamos en lo profundo de nuestros pensamientos lo qué hemos sido, lo qué somos y lo qué seremos. Por intrincados laberintos, profundos valles y altivos riscos nos visualizamos recorriendo nuestros pasos, pero nuestra imagen es un tenue y pálido reflejo en el agua o en alguna pieza de metal lustroso. Nuestras manos inquisitivas recorren las prominencias de nuestro rostro. Los dedos se deslizan y se dejan descolgar de su perfil; sus yemas, ávidas de sensaciones, juguetean con las grietas de la piel, con sus accidentes, sus suaves formas y con las cicatrices que su devenir ha inscrito.

Con el albor de un nuevo día, las sombras se disipan y las subjetividades afloran danzando al compás de la música. Cada canción cuenta una historia hilada con la anterior, sin distinguir cuando inicia o termina cada una. Algunas tonadas hablan del juego, la felicidad, el odio, el amor y todo aquello que puede proveer la experiencia humana. En esta danza, multitud de formas vivientes nos regocijan, recrean o alejan y otras nos resultan familiares. Reconocemos formas de carne y hueso que nos vinculan con mujeres y hombres que nos antecedieron, que nos acompañan y que nos sucederán. Más aún, nuestros ademanes, formas y maneras reafirman cierta familiaridad ¿Son estos los lazos qué nos unen?

Pero solo nos quedan esos tenues reflejos sobre la superficie del agua y los metales lustrosos ¿Qué sensaciones habrán acompañado a aquellos hombres que por primera vez observaron su rostro en un espejo, en una pintura o en un tapiz? La luz reflejada cambia la percepción de la forma del rostro y lo vincula con las fisonomías de las personas con las que compartimos lazos de consanguinidad.

Esta posibilidad de recorrer nuestro rostro desde afuera, de compararlo y observar su variación en el tiempo genera conmoción, aviva ese interés por conocer qué nos relaciona con nuestros ancestros y qué nos unirá perpetuamente a nuestros descendientes; nos lleva a preguntarnos ¿qué hace que lo nuevo se parezca a lo que le antecede? ¿por qué, en muchos casos, nos parecemos a nuestros padres o a nuestros familiares?

Estas preguntas se sitúan en lo profundo de nuestro discurrir, se revela en la finitud que nos asiste como vivientes. Similares preocupaciones han invadido a mentes diversas en culturas y contextos diferentes, y diferentes también han sido las respuestas. Rastrear este lazo nos implica despojarnos del velo del antropocentrismo y sumergirnos por completo en el mundo de las plantas y los animales. Deberemos recurrir a la experiencia de los hibridadores a través de la cría, selección y cruzamiento de especies domésticas. Esta senda también nos llevará a cuestionar los clásicos griegos, a aquellos que por primera vez establecieron similitudes entre padres e hijos y buscaron las razones de las mismas, con el fin de comprender por qué los gatos siempre procreaban gatos y no ratones o conejos; a refutar las creencias dominantes y derrumbar las escalas que sitúan al hombre más cerca de la(s) deidad(es) y lo patentan como amo y señor de todo lo viviente.

Todo esto le permitirá a nuestro conocimiento biológico, auscultar lo que se esconde bajo la superficie corporal, bajo la piel. De esta forma transitaremos por la primera mirada, la contemplación de la estructura de lo visible; pasaremos de la episteme de la semejanza a la constitución de un organismo.

Nuestro esfuerzo deberá conciliar las tradiciones de los naturalistas y los fisiólogos; las tendencias integrista–evolucionista y reduccionista–tomista respectivamente. Así, indagaremos sobre la forma en la que se configura un nuevo campo del conocimiento biológico, que transita por los senderos de la discontinuidad y la discretización de lo vivo; en el que el pensamiento aleatorio y la

experimentación harán parte de su quehacer, permitiéndole escudriñar en lo profundo, hasta llegar a la comprensión de las bases de lo que se denominará herencia biológica.

Pero este trasegar no solo nos representa a nosotros, sino que es el reflejo de una buena parte de la humanidad que, cada noche en la oscuridad y en lo profundo de sus pensamientos, realiza una introspección de lo que ha sido su devenir, mediato o inmediato, so pena de perder el norte si por descuido o cansancio abandona el continuo dialogo con su ser.

Hoy la imagen del rostro humano es fresca y diáfana, pero las cuestiones de lo qué ha sido, lo qué es y lo qué será siguen vigentes, aunque con el riesgo latente de desfigurarse si la reflexión de su quehacer y su creciente capacidad para manipular la lógica de lo vivo, no es guiada por elementos éticos claros.

Así, es innegable que somos una subjetividad interactuando con otras subjetividades, cada una con su propio devenir, intereses y preocupaciones. Esto implica que nuestras acciones, de una u otra forma, repercutirán en la vida de quienes trasiegan con nosotros, obligándonos entonces a constituirnos en ciudadanos sujetos de derecho, capaces de tomar decisiones frente al rumbo que tomarán nuestras construcciones y el destino de la naturaleza que nos ha llevado de la mano durante millones de años de evolución.

INTRODUCCIÓN

Me celebro y me canto a mí mismo.
Y lo que yo me atribuyo puedes atribuírtelo tú […]
Mi lengua, cada átomo de mi sangre, nacida en este suelo, surgida de este aire,
nacido aquí de padres y abuelos también aquí nacidos.
Walt Whitman

El tapiz de Bayeux es una de las representaciones icónicas de la cultura francesa. En él se retrata con gran detalle una secuencia de imágenes que narran un momento de su historia en el Medioevo. Pero más allá que el hecho en sí, muestra toda una cosmovisión de la vida agitada de la época y de las interacciones que en ella se daban. La obra surge de la mezcla de una multitud de hilos que se entretejen y forman un entramado complejo, que tomó forma de acuerdo con la visión y el objetivo del artista.

Como en este tapiz, las construcciones que expondremos en el presente trabajo de profundización sobre la herencia biológica, se transfiguran en una obra llena de imágenes, que se vinculan en torno a la pregunta ¿Por qué los hijos se parecen a sus padres? De esta emerge un abanico de singularidades enmarcadas en la herencia biológica, que nos permiten reconocer el papel de los saberes que confluyen en el aula y las formas de ver y comprender los organismos, y los cuales vislumbramos a través de la episteme. Para ello, hemos desplegado nuestra manufactura, planteamientos y comprensiones, en los apartados que denominamos el telar, la urdimbre, el tapiz y descifrando el tapiz.

En el telar proveemos el marco Que anuda una serie de interrogantes frente a la enseñanza tradicional de la genética en la Educación Básica Secundaria, en la que aún persiste una marcada tendencia a reducir la comprensión de lo vivo a una serie de instrucciones y algoritmos definidos por la genética mendeliana.

Consideramos que esta tendencia puede ser revaluada, a partir de nuestra profundización en los supuestos históricos, epistémicos, experimentales y disciplinares que han hecho de la herencia un problema de conocimiento biológico, permitiéndonos formular criterios pedagógicos y didácticos para hacer más significativas nuestras prácticas de enseñanza de las ciencias y la formación ciudadanos críticos frente a los nuevos productos De una disciplina especializada como la de la genética.

En la urdimbre trazamos los hilos que abarcan varios periodos de tiempo, partiendo del siglo XVI hasta llegar a mediados del siglo XX y en los que tomamos como punto de referencia la historicidad en los trabajos de François Jacob. En este recorrido presentamos los supuestos teóricos y experimentales que han hecho de la herencia un problema de conocimiento biológico, relacionados con la reproducción de los organismos, la teoría celular, la teoría evolutiva y la materialidad de la herencia. La complejidad del tejido la proporciona la trama, formada por duplas de hilos como la finalidad/mecanismo, la necesidad/contingencia, la estabilidad/variación y la continuidad/discontinuidad, que atraviesan la urdimbre y conforman el tejido del cual emergerán las escenas que alimentan nuestra construcción en el aula.

En el tapiz se configuran las representaciones que van surgiendo al entrelazar los hilos junto a los saberes de los estudiantes. Estas representaciones están llenas de paisajes y personajes que, entre escena y escena, nos permiten orientar el diseño, la implementación y la sistematización de una propuesta en torno a la herencia biológica.

Por último, presentamos el desciframiento del tapiz, en el que desde una reflexión de corte epistemológico, queremos hacer una introspección del camino recorrido y aludir a los criterios pedagógicos y didácticos que orientaron el diseño, implementación y sistematización de la propuesta pedagógica. En ella se resalta el hecho de que los maestros desarrollemos una crítica contextual sobre la herencia,

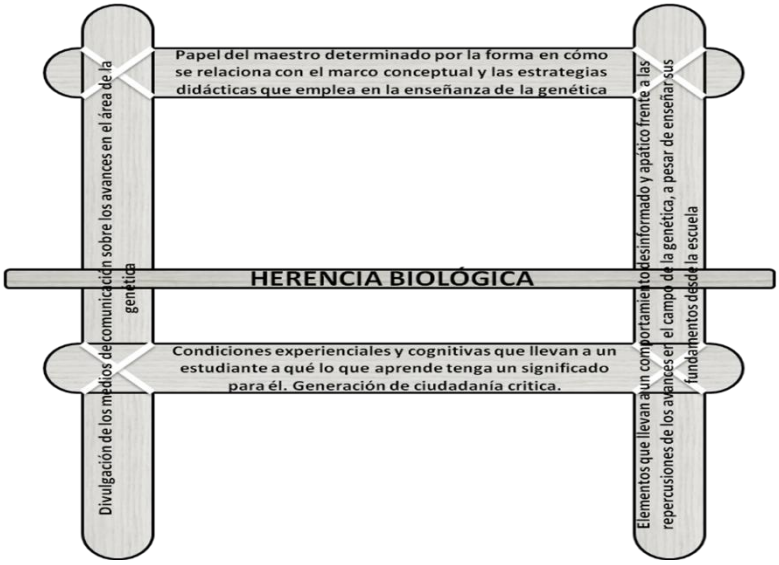
la cual nos abrirá una amplia gama de posibilidades pedagógicas, que contribuirán a que los estudiantes puedan comprender a los seres vivos como entidades únicas, maravillosas y complejas (bien sea como organizaciones individuales o poblacionales) dentro del universo, siendo el resultado de una serie de procesos y evoluciones cósmicas. Esto implica reconocer que las explicaciones y los objetos de análisis de la genética no se han agotado, en su lugar se abre un amplio espectro de preguntas, ante las cuales se deben formar criterios, tomar posturas y decisiones informadas, como ciudadanos responsables y comprometidos, en relación con el desarrollo de tecnologías derivadas de esta disciplina, como son la clonación, los organismos genéticamente modificados, la terapia genética, las terapias con base en cultivo de células madre, entre otras.

1. EL TELAR

La colaboración intelectual entre dos individuos
puede producir una fusión entre ambas esferas de conciencia
de un grado tan increíble que lleguen incluso
a fundirse dando la unidad empírica
Erwin Schrödinger

Como el lienzo vacio, el telar representa el juego de lo posible, en donde hilos de variados colores se entrecruzan y del tejido que forman se confeccionarán tapices con los cuales nos arroparemos. Como toda obra, encarna múltiples pensamientos que galopan fulgurantes por la mente y que a su paso dejan profundas dudas que, recalcitrantes, calan hasta los huesos. Esta estructura variopinta se refleja en nuestras aulas de clase, en donde se nos presentan un sinnúmero de dudas que se circunscriben en el ámbito de nuestra labor como docentes y para abordarlas, recurrimos a los lentes de aquellos que, como nosotros, se enfrentan al lienzo desnudo. Así, desde el telar fijaremos las guías desde las cuales trazaremos los hilos que nos permitirán iniciar el tejido, ese tapiz, desde el cual buscaremos propiciar construcciones sobre la herencia biológica (Ilustración 1).

Ilustración 1. Construcción del telar a partir de las guías desde las cuales se busca la problematización de la herencia biológica en el aula.



Nuestra construcción del telar comienza por uno de los pensamientos que transitan por nuestra mente: cómo los diversos medios de comunicación resaltan el vertiginoso auge que tienen los estudios científicos en el área de la genética, generando un gran impacto en aspectos sociales e históricos. De esta forma hacen alusión a pruebas de paternidad, el uso de ADN en criminología, la clonación, los transgénicos, la terapia génica, entre otros, que están cargados de múltiples y complejos significados y con un lenguaje propio que, por la inmediatez característica de los medios de difusión masiva, apenas si se atisba.

A partir de esta avalancha de información, nos surgen una serie de inquietudes, pero quizás la más importante es ¿está preparada la sociedad, los ciudadanos del común, para comprender a qué hacen referencia esta serie de conceptos, para poder tomar decisiones frente a la repercusión que dichos avances científicos puedan tener en sus vidas y en la naturaleza en general? En un caso particular podemos rastrear una respuesta a esta pregunta: en un supermercado una persona compra un producto transgénico y, al preguntarle si conoce a qué hace referencia ese término, encoge sus hombros en acto de negativa y lo incluye de todas formas en su carrito. Pero la situación tiene dimensiones mayores que se evidencian en las políticas de Estado en nuestro país, las cuales no nos protegen ni nos informan sobre el real impacto que dichos productos pueden tener en nuestra salud, tanto a corto como a largo plazo, sin contar el impacto negativo a nivel de la diversidad biológica. Nos niegan prácticamente el derecho a decidir si queremos o no un producto transgénico en nuestra alacena, puesto que no hay una norma clara que exija a los vendedores informar en sus productos su tipo de procedencia, lo que por lo menos podría causarnos curiosidad del por qué la diferenciación entre transgénico y no transgénico.

De esta forma, los avances científicos, y especialmente los relacionados con el campo de la genética y la manipulación del material genético, conllevan a que como ciudadanos tomemos decisiones que deberían partir de criterios claros, que nos permitan ser agentes activos de cambio y de transformaciones sociales en

beneficio de la comunidad y no de grandes intereses capitalistas. Pero, ¿cómo lograrlo? La mayoría coincidirá al unísono en una respuesta: desde la Escuela, puesto que ella es uno de los principales ambientes en los que se hace una aproximación a la ciencia, y se profundiza en conceptos teóricos claves de la genética moderna, específicamente en lo relacionado con la herencia biológica, abordando principios y conceptos de cierta complejidad. Esto nos plantea como maestros, exigencias en relación con la comprensión de procesos en los diferentes niveles de organización biológica, que ponen de manifiesto una ciencia no terminada, ni estática; en donde existen polémicas e ideas en debate permanente y en las que nuestros estudiantes tendrían la oportunidad de ser conscientes de la complejidad de esos ámbitos tecnológicos y científicos.

Sin embargo, desde hace décadas los temas referidos a la genética hacen parte del currículo de muchas de nuestras instituciones educativas. Entonces ¿por qué en la actualidad se observa un comportamiento de desinterés y apatía frente a las repercusiones de la ingeniería genética en la población humana y en la biodiversidad?

Muy posiblemente esto puede atribuirse a que, como lo afirma Ayuso & Banet (1995), muchos maestros hemos tendido a realizar la enseñanza de la genética empleando estrategias basadas en la transmisión de información, lo cual limita a nuestros estudiantes al desarrollo de procesos cognitivos básicos como la observación, la memorización, la definición, el pensamiento lineal causa – efecto o la aplicación mecánica de fórmulas, entre otros. Por otro lado, el hecho de que sus contenidos presenten un elevado nivel de complejidad (Smith, 1988), y que se encuentren asociados a la resolución compleja de problemas de transmisión hereditaria, hace que los estudiantes graben aspectos básicos relacionados con la herencia, sin comprender la naturaleza de este fenómeno, formándose así concepciones erróneas sobre dónde reside y cómo se transmite la información hereditaria (Ayuso & Banet, 1995), al punto que, vista y evaluada la temática,

continúan creyendo que el ADN "esta únicamente en" o "es la sangre"[1]. De esto se desprende un punto clave: al parecer si no hay una clara comprensión de los procesos referidos a la herencia biológica, es muy poco probable que nuestros estudiantes puedan comprender aspectos más complejos como los referidos a la biología molecular y la ingeniera genética.

Por otro lado, estudios realizados por otros maestros investigadores[2] que se han enfrentado a la misma preocupación, ponen de manifiesto que muchos de los estudiantes de Educación Secundaria poseen un conocimiento poco significativo de los conceptos básicos de genética y han descrito diversos obstáculos que dificultan su aprendizaje. Tal es el caso de Figini y Micheli (2005) quienes coinciden al señalar que el origen de las dificultades para el aprendizaje de la genética, radica principalmente en la naturaleza de los conceptos de esta disciplina, los conocimientos y formas de razonamiento de los alumnos, las estrategias didácticas empleadas en su orientación y las características de los libros de texto utilizados para enseñar y aprender estos contenidos. Por su parte, Ayuso & Banet (2002) plantean que los problemas en el estudio especifico de la herencia se deben a que los estudiantes presentan escasos significados de los términos básicos, entre ellos, gen, cromosoma, alelo, carácter, gametos, cigoto; no comprenden la relación existente entre dichos términos y tienen escasa comprensión de procesos más complejos como lo son la mitosis y la meiosis. Incluso se hace evidente una confusión entre estos términos, puesto que se usan indiferenciadamente, como sucede con el caso de los genes y los alelos.

[1] En muchas ocasiones, cuando preguntamos a nuestros estudiantes de grado octavo, noveno e, incluso, décimo y undécimo ¿qué es el ADN? la mayoría responde que es el que contiene la información hereditaria que pasa de los padres a los hijos; pero al preguntar ¿en dónde se encuentra el ADN? la respuesta generalizada es en la sangre. Cuando se cuestiona por el lugar especifico de la sangre donde este se hallaría, algunos pocos responden que en los glóbulos rojos y los demás niegan tener conocimiento; la negativa es mayor cuando les preguntamos por ¿cómo se trasmite el ADN de padres a hijos? Esto *grosso modo* pone de manifiesto falencias en aspectos relacionados con la teoría celular y la herencia biológica, en grados donde se "supondría" que estos saberes están consolidados en los estudiantes.

[2] De forma general, dichas investigaciones se han centrado en la identificación de conocimientos previos con pre-test, la implementación de propuestas integradoras de conocimientos y la aplicación de post-test que pongan de manifiesto los nuevos aprendizajes desarrollados por los estudiantes.

Orozco (2013) indica que una de las razones por las cuales estos conceptos son difíciles de asimilar por los estudiantes, se debe a la presencia de contextos donde el conocimiento sobre lo vivo se encuentra fragmentado sin ofrecerle la oportunidad de relacionar lo que aprende. Esto puede deberse a que la genética como disciplina, experimentó una notable evolución, convirtiéndose en punto de encuentro de campos de la biología antes dispersos (Resende & Klautau, 2011), cada uno con un lenguaje característico que en muchas ocasiones es muy difícil de unificar dentro del aula. Por ejemplo, nosotros enseñamos a nuestros estudiantes cómo realizar un cuadro de Punnett para determinar la probabilidad de la herencia de un carácter, pero muy probablemente dejamos de lado el vincular a este proceso la división celular y las funciones de las proteínas y enzimas como medios de expresión del genotipo. De esta forma, hemos convertido el cuadro de Punnett en un objetivo de enseñanza-aprendizaje y no en una herramienta que posibilite la integración de conocimientos para la comprensión de fenómenos como las diferencias entre hijos de los mismos padres, la herencia de enfermedades (Orozco, 2013), mutaciones e incluso el mismo proceso de evolución.

Y es en este punto donde se evidencia que los factores que dificultan la comprensión de la herencia biológica en el aula, no solo están referidos a la complejidad de los conceptos implicados, su naturaleza, los objetos de análisis, la forma en que se aborda su estudio y las formas en la que los estudiantes los comprenden, sino que también juega un papel fundamental la participación de nosotros como maestros, la cual está determinada por la forma en cómo nos relacionamos con el marco conceptual y las estrategias didácticas que empleamos. En muchas ocasiones, al momento de orientar este tipo de temáticas, nos limitamos a replicar en secuencia, lo que se encuentra en los libros de texto, sin tener una real apropiación conceptual del tema y la forma en la que se ha constituido históricamente. De esta forma, asumimos nuestra responsabilidad cuando hacemos que los conceptos relacionados con el proceso de herencia biológica, se conviertan en una simple charla teórica en donde le suministramos a

nuestro educando una serie de datos sobre cómo se da este fenómeno biológico, sobre quiénes lo descubrieron (Moreno, 2014) concluyendo en la resolución de problemas descontextualizados y limitados al cuadro de Punnett, que en su mayoría vienen planteados en los libros, y que en vez de servir para reestructurar o aplicar los conceptos que hemos trabajado, promueven una mecanización de su resolución y de esta manera se anula, o se limita bastante, su eficacia para construir un conocimiento significativo a partir de ellos (Oliva, 2013). Básicamente, caemos en la rutina de enseñar cómo y lo que nos enseñaron tanto en la escuela como en la universidad, desconociendo que tenemos frente a nosotros otras formas de ver y actuar en una dimensión compleja del conocimiento, por lo que no nos son suficientes estas primeras miradas, si nuestro objetivo es problematizar la herencia en el aula y a partir de este hecho, tejer una red de significados que nos provean de referentes desde los cuales, como un catalejo, podamos auscultar mas allá de lo que nos presenta la inmediatez.

Todo lo anterior nos pone de manifiesto la necesidad de plantear un cambio en la manera de abordar estos campos del saber biológico, partiendo de los problemas que permitieron su surgimiento y las alternativas desde las cuales se ha tratado de dar respuestas. En este sentido, Ayuso & Banet, (2002) establecen que es necesario el diseño de programas de enseñanza que promuevan la construcción de conocimientos y optimicen la resolución de problemas de herencia biológica. Sumado a esto, como maestros debemos buscar estrategias que permitan conectar a nuestro educando con el mundo existente y lograr una real apropiación de conceptos (Segura, 1998).

Moreno (2014) nos indica que los conceptos relacionados con la herencia biológica y el concepto en sí mismo, se deben construir partiendo de la observación directa del mundo natural por parte del estudiante, lo cual le aportará las herramientas necesarias para modificar su estructura cognitiva y redescubrir su significado. Es sabido que para que un alumno aprenda de manera significativa, es necesario que sea capaz de regular su propio proceso de aprendizaje de forma

autónoma, y para ello es preciso que lo asumamos como un sujeto social de conocimiento, que construye y reconstruye a partir de las múltiples relaciones que establece en su espacio cultural y que hace de la actividad de conocer una posibilidad para criticar permanentemente aquello que aparenta ser socialmente válido; elabora formas creativas de relacionarse consigo mismo, con los otros y con su entorno, y que es capaz de emocionarse con el conocimiento (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003). De esta forma, una intervención didáctica que parta de asumir la ciencia y su enseñanza como actividad de construcción de explicaciones, incidida y condicionada por el contexto cultural, basada en los problemas de conocimiento[3], puede promover un proceso de aprendizaje significativo, autónomo y autorregulado, que genere una construcción de conocimientos sobre herencia biológica (García & Mazzarella, 2011), tomando como punto de partida la construcción de espacios para el cuestionamiento de las representaciones que nosotros y nuestros estudiantes realizamos sobre la misma, y las cuales se expresan en la construcción de formas de abordar y formular soluciones alternativas a diversos problemas.

Ahora, solos frente al telar cabe preguntarnos ¿qué debemos enseñar sobre la herencia biológica? Mejor aún, ¿cuáles son las condiciones experienciales y cognitivas que llevan a un estudiante a qué eso que queremos enseñar tenga sentido para él? y ¿cuál es el sentido que asignamos a la enseñanza de las ciencias? Para responder estos interrogantes debemos partir del hecho de que en actualidad la educación en ciencias, además de aportar conceptos, habilidades y competencias, debe contribuir con elementos de crítica conceptual que nos permitan a los ciudadanos asumir reflexivamente los productos de las ciencias y formar una opinión y posición sobre ellos. En palabras de Fourez (1994), sin

[3] Nuestro trabajo se situará en la perspectiva de Valencia, Méndez, Orozco y Jiménez (2003) sobre los Problemas de Conocimiento, quienes indican que estos emergen como una categoría alternativa para comprender la construcción de conocimiento en ciencias, asumiendo estas y su enseñanza, en términos de actividad de la cultura, en donde lo que prima no es la reconstrucción de los corpus teórico-experimentales disciplinares, sino la generación de condiciones comunicativas y experienciales para la construcción de explicaciones del mundo natural y social.

adquirir cierta familiaridad con las ciencias y las tecnologías, es inútil pretender tener un lugar pleno en el mundo de hoy.

En este mismo sentido, Abril, Muela, & Quijano (2002) nos indican que el conocimiento profundo de la herencia biológica ayudará a nuestros estudiantes a reconocer y valorar las aportaciones de la ciencia para mejorar las condiciones de existencia de los seres humanos, a apreciar la importancia de la formación científica, a utilizar actitudes propias del pensamiento científico adoptando una actitud crítica ante los problemas que se le planteen, a valorar el conocimiento científico como un proceso de construcción que depende de las necesidades de la sociedad en la que se vive y del momento histórico, y que está sometido constantemente a revisión. Gator (1992) asegura que los estudiantes que desarrollen un correcto entendimiento de los conceptos y procesos genéticos estarán mejor capacitados para entender la realidad de los medios y estarán más preparados para participar en decisiones importantes. Todo esto coincide con lo planteado por Fourez (1994), cuando afirma que:

> Una persona alfabetizada científica y técnicamente es capaz de: utilizar conceptos científicos e integrar valores y saberes para adoptar decisiones responsables en la vida corriente; comprender que la sociedad ejerce un control sobre las ciencias y las tecnologías, y asimismo que las ciencias y las tecnologías imprimen su sello en la sociedad; reconocer tanto los limites como la utilidad de las ciencias y las tecnologías en el progreso del bienestar humano; conocer los principales conceptos, hipótesis y teorías científicas, y ser capaz de aplicarlos; apreciar las ciencias y las tecnologías por la estimulación intelectual que suscitan; saber reconocer la diferencia entre resultados científicos y opiniones personales; reconocer el origen de la ciencia y comprender que el saber científico es provisorio y sujeto al cambio según el grado de acumulación de los resultados; comprender las aplicaciones de la tecnologías y las decisiones implicadas en su utilización; poseer suficiente saber y experiencia como para apreciar el valor de la investigación y del desarrollo tecnológico; extraer de su formación científica una visión del mundo más rica e interesante; conocer las fuentes validas de información científica y tecnológica y recurrir a ellas cuando hay que tomar decisiones; y tener cierta comprensión de la manera en que las ciencias y las tecnologías fueron producidas en la historia.

Bajo esta óptica, varios haces de luz apuntan a la necesidad de que, como maestros, problematicemos la herencia biológica en el aula, permitiendo a nuestros estudiantes comprender y tomar posición frente a temas como el

conocimiento del genoma humano, la terapia génica, la clonación, los alimentos transgénicos, el uso del ADN en criminología o la determinación de paternidad, por mencionar algunos de los aspectos de la genética que cada vez aparecen con más fuerza en los diferentes medios de comunicación masiva. Esto nos implica poner en juego los principios elementales de la herencia de los caracteres biológicos (genética), la ubicación de los genes (en los cromosomas), la manera en la que se transmiten estos genes a la descendencia en sucesivas generaciones, la relación que existe entre la dotación genética y su manifestación externa en los individuos (Caballero, 2008) y el desarrollo de planteamientos como cuál podría ser el efecto de la terapia génica en la humanidad o quienes deberían controlar las nuevas tecnologías, que si bien es una elección política y ética y no necesariamente de la ciencia y su enseñanza, sí implica tener fundamentos conceptuales claros, para que nuestras actuales juventudes, en un futuro no muy lejano, puedan dar sus opiniones sobre estos asuntos y tomen decisiones con una actitud crítica (Abril, 2010).

Pero ¿hacia donde debemos dirigir la mirada para llegar a problematizar nuestra práctica pedagógica? ¿qué tipo de rastreo es necesario si se quiere profundizar en el campo de la herencia biológica? ¿qué elementos constituyeron o delimitaron ciertas preocupaciones hasta convertirlas en una disciplina científica como la genética? Un segundo haz apunta a ahondar en los aspectos históricos que llevaron a la herencia biológica a constituirse como un campo del saber biológico, no para recordar fechas y hechos anecdóticos, sino para situarnos en los momentos de inflexión en los que los conceptos actuales han cobrado sentido, a tal punto de inaugurar nuevos campos del saber. Esto nos permitirá diseñar herramientas para formular y desarrollar una propuesta de aula encaminada a lo que Fourez (1994) denomina alfabetización científica, con todo lo que ella entraña y que mencionamos anteriormente. Para ello, es necesaria una delimitación clara del campo disciplinar, de sus objetos de análisis y la manera cómo estos se han constituido como tales a través del lenguaje y las prácticas científicas. También implica de nuestra parte una actualización constante en los avances genéticos

como lo son el desarrollo del proyecto genoma humano, la biotecnología, la Ingeniería genética, la clonación, la eutanasia, el alquiler de vientres, los embriones congelados, los bancos de semen, transgénicos, la criogénesis, entre otros; puesto que los retos éticos e ideológicos derivados de la exploración y aplicación de este tipo de tecnologías transformarán las concepciones que construyamos sobre nuestro mundo y la forma en que los científicos asuman la responsabilidad sobre su trabajo. De esta forma nosotros y nuestros estudiantes podremos ser actores dinámicos en dichos procesos.

Todos estos elementos, que metafóricamente podríamos denominar soportes, listones, uniones y haces luminosos (los que se trazan desde nuestra lente y la de otros, preocupados en el mismo sentido), confluyen en un campo común de interés que permiten perfilar lo que será la guía de nuestro telar, nuestra hipótesis: *Si los maestros profundizamos en los supuestos históricos, epistémicos, experimentales y disciplinares que han hecho de la herencia un problema de conocimiento biológico, tendremos criterios pedagógicos y didácticos para hacer más significativas nuestras prácticas de enseñanza de las ciencias y la formación ciudadanos críticos frente a los nuevos productos de la genética.*

Con el fin de abordar este supuesto, consideramos necesario partir de una de las preguntas que desde el comienzo de las construcciones intelectuales de la humanidad se ha dado y que llevó a la constitución de la herencia biológica como un campo del saber, al establecimiento de Biología como una ciencia y a la genética como una de sus disciplinas, y es la de ¿por qué los hijos se parecen a sus padres? [4] Esta nos permitirá develar las epistemes que subyacen y emergen en diferentes formas de mirar, comprender y explicar el mundo y dar cuenta de las respuestas que se han construido a través de la historia. De igual forma, implica comprender la herencia como un proceso mediante el cual los seres vivos

[4] Desde los comienzos de la historia de la humanidad, muchos individuos se preguntaron por las razones por las cuales un gato siempre engendraba gatos y no perros o conejos, o por los evidentes parecidos físicos que un bebe humano tenia con algunos de su familiares. Estos mismos cuestionamientos nos los hacemos cuando somos niños y comenzamos a indagar por el mundo que nos rodea.

permanecen en el tiempo[5] y a su vez, indagar sobre las transformaciones epistémicas que sobre esta pregunta se han establecido, permitiendo que la herencia biológica se haya constituido como un objeto de estudio para la biología.

En este contexto, el objetivo general que nos permitirá darle forma al tejido mencionado pretende *dar cuenta de los supuestos teóricos y experimentales que han hecho de la herencia un problema de conocimiento biológico*. Para materializarlo, nos enfocaremos en *profundizar teóricamente a partir del siglo XVI y hasta la mitad del siglo XX, los supuestos teóricos y experimentales que han hecho de la herencia un problema de conocimiento biológico*; y *definir criterios pedagógicos y didácticos que orienten el diseño, implementación y sistematización de una propuesta en torno a la herencia biológica*, que la hilen de forma contextualizada en la trama compleja en la que se constituye el aula.

Para desarrollar estos objetivos acudimos en primera instancia a la búsqueda de unos elementos didácticos que nos permitieran visualizar cómo otros autores han abordado el problema de la enseñanza de la genética, específicamente el de la herencia biológica, en sus aulas de clase, entre ellos Ayuso & Banet (1995, 2002), Abril, Muela, & Quijano (2002), Abril (2010), Orozco (2013), Moreno (2014), García & Mazzarella (2011), Figini & Micheli (2005) Oliva (2013), Caballero (2008) a quienes hemos citado previamente y que han enfocado sus trabajos en la realización de propuestas encaminadas hacia ciertas perspectivas didácticas que consideraron pertinentes y apropiadas a sus propias búsquedas. Específicamente Ayuso & Banet (2002), a partir de un rastreo y resumen de los resultados de varios años de investigaciones en el aula sobre el aprendizaje y la enseñanza de la herencia biológica, establecen que llevar a cabo la planificación y el desarrollo de un programa sobre la enseñanza de la genética en educación secundaria, requiere

[5] Cabe anotar en este punto que, como lo indica Schrödinger (1944), si el parecido entre padres e hijos no presentará excepciones, no solo no dispondríamos de todos esos brillantes experimentos que nos han revelado el detallado mecanismo de la herencia, sino que no se daría ese experimento a gran escala en la Naturaleza, realizado algunos millones de veces ya, que forja las especies por selección natural y supervivencia del mas apto.

considerar que los estudiantes aprenden a partir de los conocimientos que ya poseen; identificar criterios para seleccionar y secuenciar los contenidos de enseñanza y los objetivos de aprendizaje (trascendiendo al ámbito disciplinar y contemplando el contexto cotidiano en el que los ciudadanos utilizarán sus aprendizajes); tomar decisiones sobre la selección y secuencia de las tareas de aprendizaje (un programa que contribuya a la construcción de aprendizajes más que a la memorización, requiere que el planteamiento y el desarrollo de las distintas actividades respondan a unas intenciones, científicas y didácticas, suficientemente explícitas); y realizar el seguimiento del desarrollo del programa de enseñanza y de los aprendizajes de los estudiantes (de esta manera, los profesores podemos conocer en qué medida nuestra práctica educativa resulta eficiente para lograr los objetivos que nos hubiéramos propuesto, información que nos permitirá reorientar o potenciar las distintas tareas que se desarrollan en el aula).

Si bien para nosotros son fundamentales estos aspectos y los tomamos en cuenta durante la creación y desarrollo de nuestra propuesta de aula, pensar que los problemas de enseñanza-aprendizaje de la herencia biológica quedan resueltos haciendo el tema más atractivo, dinámico y contextualizado es muy idílico. Como hemos planteado anteriormente, nuestra experiencia en el aula nos lleva a pensar que es necesario que como docentes tengamos claros unos referentes históricos, epistemológicos y experimentales que nos permitan documentar las preocupaciones y los problemas que se han dado en torno a la pregunta ¿por qué los hijos se parecen a los padres? posibilitándonos abordar la enseñanza de la genética de una manera diferente.

Para ello, comenzamos una búsqueda bibliográfica situados desde un enfoque que alude a la historicidad de los conceptos, la cual nos condujo a François Jacob (1982, 1998, 1999); en su obra, se delimitan y trazan los hilos que serán la columna vertebral de nuestro trabajo. De igual forma, acudimos a los trabajos y apreciaciones de Atkins (2009), Drouin (1991), González (2001), López (1992,

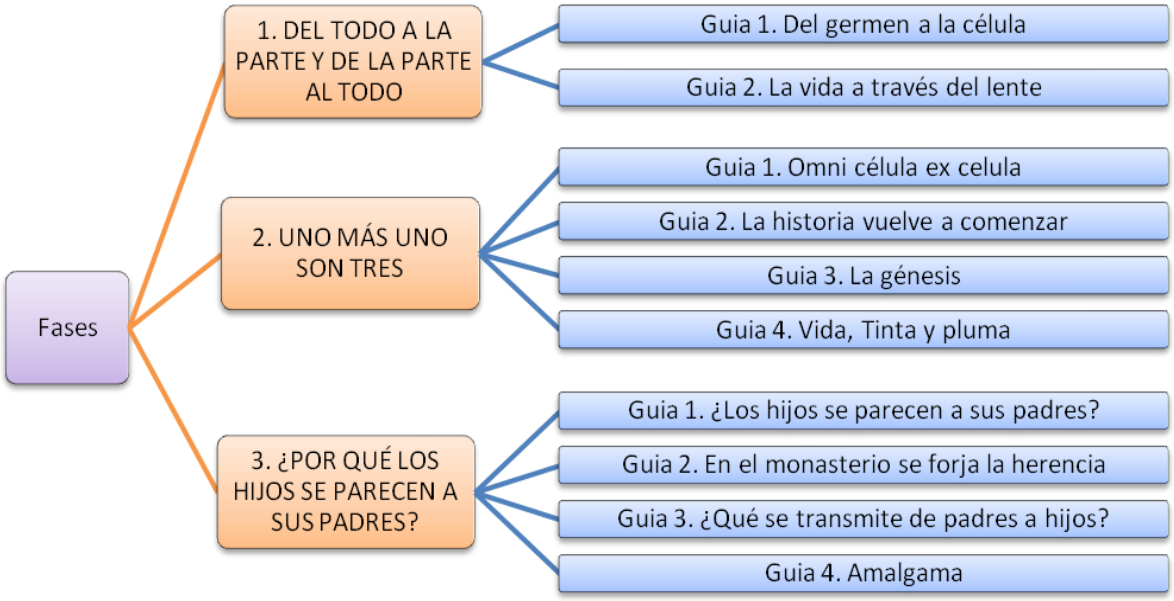
2002), Sturtevant (1995), Mendel (1865), Watson (1968), Albarracín (1983), Claros (2015), Melo (2013), Schrödinger (1944), Castro (2013), Monod (1970), Piro (2012), entre muchos otros, y en especial de Michel Foucault (1968, 1970, 1988), de quien nos valemos para entender la forma en que se fraguaron las lentes con las que hemos intentado comprender el mundo, las epistemes. Así, llegamos a la construcción de lo que denominamos la Urdimbre y la Trama, en donde recogemos lo que, después de disertaciones y profundos cuestionamientos, consideramos son los fundamentos epistemológicos, históricos y experimentales bajo los cuales se constituyó la herencia biológica como un problema de conocimiento.

A partir de la conformación del telar (antecedentes y cuestionamientos en relación con la enseñanza de la genética), la urdimbre (problemas que han constituido la herencia como un campo de estudio biológico) y la trama (tensiones que van surgiendo en la medida en que van cambiando los objetos de estudio y emergiendo conceptos en relación con la herencia) tejimos el tapiz, una propuesta de aula diseñada con criterios pedagógicos y didácticos que nos permiten asumir la herencia biológica como un problema de conocimiento en el aula. En este sentido, y como lo indicamos previamente, asumir la categoría de los problemas de conocimiento nos implica asumir las ciencias y su enseñanza, en términos de actividad de la cultura, en donde lo que prima no es la reconstrucción de los corpus teórico-experimentales disciplinares, sino la generación de condiciones comunicativas, interrogativas y experienciales para la construcción de explicaciones del mundo natural y social; y transcender nuestra mirada del programa como el desarrollo de contenidos, hacia su comprensión como un proceso que se construye a partir de nuestras intenciones iniciales, que se concretan y transforman en el devenir de las prácticas escolares (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003). Por ende nuestra propuesta no busca dar la fórmula mágica para resolver las dificultades que se presentan en la enseñanza de la genética en el aula, sino esbozar algunos criterios de actuación entendidos como estrategias que nos permiten como maestros aportar elementos para la

constitución (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003) de la herencia biológica como un problema de conocimiento.

Dicha propuesta, tiene una duración aproximadamente 30 horas y se divide en tres fases estructuradas de acuerdo con los tres ejes fundamentales que dieron paso a la problematización de la herencia biológica y que actuaron como situaciones desencadenantes[6]: Del todo a la parte y de la parte al todo (teoría celular); Uno mas uno son tres (reproducción); y ¿por qué los hijos se parecen a sus padres? (trabajo de Mendel, Teoría cromosómica, estructura del material genético) (Ilustración 2).

Ilustración 2. Esquema general de las fases de la propuesta.



La primera fase estuvo dirigida a indagar la forma en la que la comprensión sobre la constitución de los seres vivos y la relación que guarda con los procesos de la herencia biológica a través de la historia, permite profundizar en los supuestos

[6] Las situaciones desencadenantes son un criterio de actuación dentro del enfoque por Problemas de Conocimiento. Estas situaciones solo pueden ser descritas cuando el maestro reflexiona sobre la actividad del aula, no se definen a priori, no se prescriben, por el contrario emergen en la confluencia de preguntas, en la contrastación de hipótesis, en la delimitación colectiva de intereses, en el comentario improvisado, entre otros; se constituyen en espacios para la problematización de eventos del mundo cotidiano que permiten a un grupo de individuos orientar y delimitar sus intereses en la perspectiva de construir conocimiento (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003).

teóricos y experimentales que hicieron de esta última un problema de conocimiento. Partimos del hecho de que antes del siglo XVIII los organismos se generan, lo cual implica que son la producción de un proyecto divino, en el que principios como simiente, gérmenes, animálculos, no son asunto material. Sin embargo, a finales del siglo XVIII y durante el siglo XIX, se da una transformación a esta mirada, ahora los organismos se desligan de la intervención divina, orientando su plan hacia la reproducción. Esto conlleva a la realización de miradas más profundas que se deben desplegar del todo a la parte y de la parte al todo; de la continuidad a la discontinuidad.

De esta forma, condujimos a nuestros estudiantes por el camino trasegado por diferentes investigadores, que con sus trabajos y aportes técnicos y experimentales, posibilitaron la construcción del concepto célula y con él, la comprensión de los fenómenos implicados en la herencia biológica. Es importante resaltar que tanto esta fase, como las demás, la fortalecimos con varios cuestionamientos y actividades que implicaban la realización de dibujos y gráficos, considerando que las preguntas alrededor de una situación particular permiten a los estudiantes realizar una continua construcción de criterios o elementos que van validando los desarrollos del grupo y a su vez crean un lenguaje propio que se expresa no sólo en el lenguaje articulado, sino también en el gráfico (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003). En la tabla 3 de los anexos 1, describimos esta fase con cada una de las guías que la constituyeron.

El propósito de la fase 2, fue presentar a nuestros estudiantes elementos que les permitieran comprender el significado de los procesos reproductivos como mecanismos de transmisión de la información hereditaria (anexos 1, tabla 4). Para ello, continuamos la profundización experiencial en laboratorio, en torno a la importancia del descubrimiento del núcleo celular, relacionándolo con el proceso de fecundación y embriogénesis, buscando de esta forma establecer relaciones alternativas con la experiencia que fortalezcan la inquietud por conocer, resolver la necesidad de contrastar, experienciar aquello que nos parece incomprensible,

vivenciar nuevas formas de relación con las preguntas, imaginar mundos donde nuestras preguntas configuran sus sentidos y artificializar el universo de nuestra indagación (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003). Finalmente, realizamos un vistazo rápido sobre la teoría de la generación espontanea diferenciándola de la teoría reproductiva y las transformaciones en el pensamiento científico de la época, que se propiciaron. A partir de esto, los estudiantes construyeron argumentos en relación con los acontecimientos que dan lugar a la formación de un organismo. Consideramos que este tipo de actividades les permiten a nuestros estudiantes establecer relaciones alternativas con la información, las cuales se expresan en el cambio de concepción que tienen de ella; esto es, la información deja de ser sinónimo de conocimiento y empieza a ser concebida como referente que documenta las preguntas, amplía las experiencias y enriquece las explicaciones (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003).

Con la fase 3 incursionamos en el problema de la herencia biológica, tomando como referentes los supuestos teóricos y experimentales que dieron respuesta a este interrogante desde el siglo XVI hasta mediado del siglo XX (anexos 1, tabla 5). De esta forma, se buscó cuestionar a los estudiantes sobre los criterios que ellos emplean para relacionar hijos con sus padres; generar explicaciones frente a su comprensión sobre lo que consideran es la herencia biológica partiendo de los experimentos realizados por el Mendel, las observaciones de Bovieri y Sutton, el trabajo realizado por Morgan y colaboradores; y la caracterización de la molécula de ADN con su implicación en el desarrollo de técnicas de manipulación genética.

Finalmente, y partiendo del hecho de que toda opinión, desde cualquier enfoque, resulta pertinente en un proceso de construcción de Problemas de Conocimiento, al aportar los puntos de confluencia y divergencia que hacen más rico el proceso y que obligan a afinar la argumentación, que es requisito indispensable para la creación colectiva de explicaciones (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003), procedimos a la realización de una plenaria, en la que los estudiantes pusieron en juego cada uno de los elementos trabajados en las fases preliminares. Estos les

permitieron participar activamente en el análisis de las implicaciones tecnológicas que se derivan de las aplicaciones de las teorías acerca de la herencia biológica, confrontando la posibilidad de hacer bebes a la carta y los alcances que tendría en la sociedad, todo en el marco de si aun tendría validez preguntar ¿por qué los hijos se parecen a los padres? Este tipo de espacios nos permiten reconocer que el sujeto es y se configura a través de la palabra; el otro es más que un individuo o un grupo de ellos, es aquel que se revela desde su diferencia o heterogeneidad, por medio de sus escritos, aportes en las discusiones, participación en la elaboración de informes y en el reconocimiento y respeto por la producción de sus pares; la expresión de diversas formas de ver, escuchar, relacionar y comprender permite a nuestros estudiantes desinhibirse, reconocerse como ser creativo, valorar sus propias producciones e iniciar procesos de construcción de conocimiento de manera intersubjetiva (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003).

Esta forma de abordar nuestro trabajo nos lleva a asumir que el aprendizaje se fundamenta en nuestra interacción con el mundo físico, social y cultural en el que estamos inmersos (Martínez, 2013). Además, nos permite validar la idea de la clase de ciencias como espacio donde el estudiante formula preguntas, delimita problemas, expresa inquietudes y diseña alternativas de trabajo llevándonos a asumir la ciencia como una actividad de la cultura (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003). De esta forma, asumimos que los seres humanos no descubrimos el conocimiento, sino que lo construimos. Por lo tanto, existe una ineludible dimensión histórica y sociocultural en esta construcción (Schwandt, 2000), que nos permitirá problematizar nuestra práctica educativa, puesto que, como lo afirma Merino (1995), los resultados de una investigación no tienen sentido si no tienen como objeto mejorar la calidad del aprendizaje y de la vida personal y social de los estudiantes y de otros actores que están al servicio de la educación de las generaciones que nos siguen.

Como maestros investigadores debemos hacer de nuestra práctica, un ejercicio de auto-reflexión, apropiando elementos pedagógicos y disciplinares que nos permitan ser sujetos transformadores de nuestra aula de clase (Imbernón, 2002) asumiendo ésta no como un espacio físico, sino como un sistema de relaciones sociales en donde las representaciones individuales se expresan, se alteran y coexisten con otras; un sistema de relaciones que permite a quienes participan expresarse, contrastarse, enriquecerse y transformarse colectivamente (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003). Esto sin dejar de lado lo afirmando por Castro (2013): no podemos pretender enseñar biología si no nos tomamos en serio lo que ha significado históricamente hacer biología.

2. LA URDIMBRE

Pocos fenómenos se manifiestan con tanta evidencia en el mundo de
lo viviente como la generación de los semejantes a partir de otros semejantes.
El niño se da cuenta en seguida de que el perro nace del perro y el trigo del trigo
François Jacob

El tapiz que constituye los saberes puestos en juego en la escuela, tal como en el telar, está atravesado por los hilos longitudinales que tensan el tejido (la urdimbre) y que son el sostén estructural, y los hilos que forman la trama. En el contexto del presente trabajo, se estudia el tapiz compuesto por el entramado entre los saberes de la disciplina, del docente y el estudiante en el marco de la herencia biológica.

El estudio de este entramado plantea diversos cuestionamientos, pero el foco, en este caso, se centra en los problemas que han constituido la herencia como un campo de estudio biológico y que a la postre se organiza en la urdimbre desde la cual el docente y el estudiante se pueden relacionar con el conocimiento disciplinar. Para describir estos hilos, es necesario mirar en retrospectiva las discontinuidades[7] que se han dado a través del tiempo, con el fin de entender la diversidad de emergencias que han conformado este campo. Por esta razón, el análisis no se centra en monumentos y fechas, sino que reconoce los dilemas, las controversias, las incertidumbres y las construcciones que realizan hombres de carne y hueso inmersos en un mar de signos y significantes característicos de su devenir histórico. Como lo indica Jacob (1982), la historia adquiere una importancia mucho mayor en biología, puesto que solo pueden formalizarse los

[7] Tal retrospectiva puede hacerse igualmente desde un punto de vista continuista, en el que se asume la ciencia como una construcción que surge a partir de un conocimiento previo, al cual se van sumado los nuevos conocimientos hasta alcanzar el conocimiento científico. Sin embargo, nuestro trabajo opta por la de la discontinuidad puesto que, en concordancia con Foucault (1970), consideramos que el análisis debe hacerse desde varios niveles, cada uno con sus rupturas (umbrales, cortes, mutaciones, transformaciones) específicas y asumiendo la individualización de series diferentes, que se yuxtaponen, se suceden, se encabalgan y se entrecruzan, sin que se les pueda reducir a un esquema lineal.

condicionamientos, pero no la historia, por lo que la biología tiene una categoría científica distinta a la de la física.

Los seres vivos son organizaciones históricas. Son, literalmente, creaciones de la historia (Jacob, 1982). Se trata entonces de bosquejar históricamente la *episteme* subyacente (evocando tímidamente a Foucault) en las formas de explicar el ¿por qué los hijos se parecen a sus padres? o ¿cómo lo semejante produce lo semejante? para lo cual nos hemos apoyado de los trabajos de Michel Foucault y en los planteamientos de François Jacob y otros autores.

Los elementos que nos permitirán bosquejar la episteme y desde los cuales trazaremos los hilos de la urdimbre son cuatro: la reproducción de los organismos, la teoría celular, la teoría evolutiva y la materialidad de la herencia (ilustración 3a). El marco de referencia (el telar) está dado en los cuestionamientos que se generan en el campo de la herencia biológica, por lo que las alusiones a los tres primeros elementos no buscan definirlos, sino observar las contribuciones desde las cuales ellos se han constituido como condiciones teóricas que permiten la comprensión de esta última. Los hilos que constituyen la trama del tejido se trazan desde la tensión entre finalidad/mecanismo, necesidad/contingencia, estabilidad/variación y continuidad/discontinuidad (Jacob, 1999) que hasta el siglo XIX parecían irreconciliables (ilustración 3b). Incluso, en el presente siglo aún no ha desaparecido por completo la oposición entre la interpretación mecanicista y vitalista de los seres vivos (Jacob, 1982). Esta trama será ampliada con mayor profundidad en el siguiente capítulo.

Jacob (1999) sitúa lo que hemos denominado como urdimbre en dos órdenes o tendencias de la biología: la integrista o evolucionista y la tomista o reduccionista (tabla 4). En la primera tendencia el organismo se estudia como una unidad no disociable en sus constituyentes, inmerso en un sistema de orden superior como la especie, la población, la familia ecológica. El estudio se centra en las colectividades, los comportamientos y relaciones entre los organismos y su medio

ambiente, así como las fuerzas y los cambios que han sufrido la fauna y la flora hasta hoy. El órgano y la función son analizados en el marco de una unidad supraordinal, como la especie, para explicar comportamientos como la sexualidad, la relación predador – presa. En este sentido, el todo es más que las partes, debido a la imposibilidad de reducir la comprensión del organismo a la simple descripción de sus piezas. En la segunda tendencia el organismo es un todo que debe explicarse sólo por las propiedades de sus partes. La mirada se dirige al interior del organismo, en el órgano, los tejidos, las células y las moléculas. En este contexto las funciones se explican a través de la estructura.

Ilustración 3. Los hilos que conforman la urdimbre y la trama.

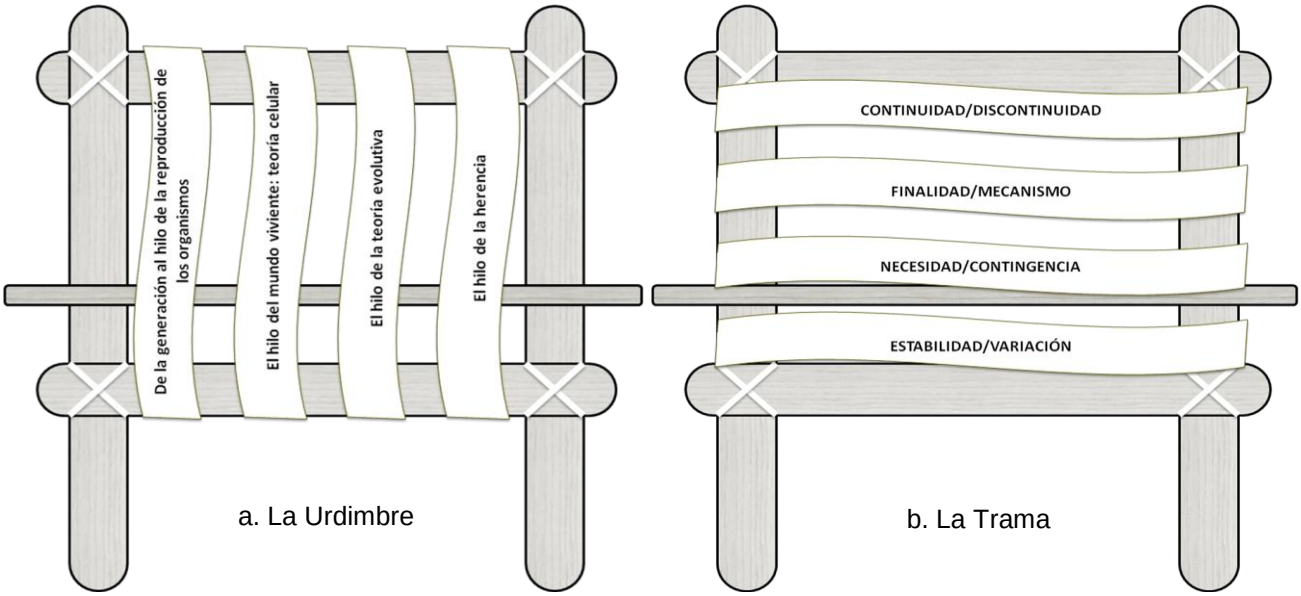


Tabla 1. Comparación entre las tendencias de la biología (Elaborada por los autores a partir del análisis de *La lógica de lo viviente* de François Jacob)

Tendencia	Preocupaciones	Orden en el mundo viviente	Análisis	Fines
Integrista – Evolucionista	Se ocupa de las causas remotas que intervienen en la historia de la Tierra y los seres vivos a lo largo de millones de generaciones.	Orden a través del cual se enlazan los seres, se establecen las filiaciones, se diseñan las especializaciones.	Considera a los seres vivos como elementos de un vasto sistema que engloba toda la tierra.	Busca establecer un orden entre los organismos

Tendencia	Preocupaciones	Orden en el mundo viviente	Análisis	Fines
Reduccionista –Tomista	Se ocupa de las causas inmediatas que ponen en juego los constituyentes del organismo, su funcionamiento, las reacciones frente al entorno.	Orden estructural a través del cual se determinan las funciones, se coordinan las actividades, se integra al organismo.	Se interesa por el sistema constituido por cada ser vivo.	Busca un orden dentro del organismo.

Un tercera tendencia que vendría a reconciliar estas dos y aliviar las tensiones entre las supuestas antinomias, sería la de la herencia, lo que Jacob denomina el orden del orden biológico, en el que, si las especies son estables, es porque el programa ha vuelto a copiarse escrupulosamente, signo a signo, de una generación a otra, pero si varían es porque de vez en cuando el programa se modifica (Jacob, 1999). Esta nueva idea, como evidenciaremos en el apartado siguiente, emerge solo hasta finales del siglo XVIII, a partir del momento en que la producción de un organismo por otro, comienza a pensarse en términos de la reproducción y no de su generación.

A continuación, trazaremos cada uno de los hilos de la urdimbre situándolos como elementos de orden teórico y experimental que posibilitaron la constitución de la herencia como un problema de interés biológico. Como mencionamos previamente, el primer hilo está conformado por la reproducción de los organismos, el segundo hilo lo forma la teoría celular, el tercer hilo lo forma la teoría evolutiva y el último hilo lo conforma la materialidad de la herencia.

2.1. DE LA GENERACIÓN AL HILO DE LA REPRODUCCIÓN DE LOS ORGANISMOS

La reproducción liga a los organismos; es un concepto que emerge en el siglo XVIII y se constituye en una de las principales condiciones teóricas para comprender la herencia biológica. En los siglos precedentes, se asumía que los seres vivos no se reproducían sino que eran engendrados (Jacob, 1999) o

generados, lo que implica la presencia y acción de una fuerza divina y cuyo juicio (en algunos caso capricho) dictaminaría las características y cualidades del ser formado. En este sentido, lo que haría a los individuos parecidos entre sí estaría dado por la creación simultánea de seres a través de un molde surgido en la génesis del mundo. Si los seres creados no se ajustaban a este molde se observarían toda suerte de engendros, monstruos y aberraciones como producto del apareamiento de animales de diferentes clases.

2.1.1. La generación

Como mencionamos, desde esta episteme[8] los seres son generados y al igual que todo cuerpo en la naturaleza se pueden describir en función de la combinación de materia y forma. Dado que la materia en esencia está compuesta por cuatro elementos (tierra, fuego, agua y aire), la variación recaería en la forma. La multiplicidad de cuerpos[9] se traduce en variedad de diseños: un diseño es al diseñador como la naturaleza al creador o a un principio regente que éste ha determinado. En este sentido, el conocer radica en reconocer los signos externos visibles en la forma, para comprender sus relaciones. Las analogías y las similitudes permitirían acceder a los secretos de la naturaleza y en últimas, a las formas de proceder e intenciones del Creador. Los seres vivos en este marco requieren de la combinación de materia y forma bajo dos fuerzas que rigen el mundo: el alma y el calor innato.

Por un lado, el alma no es perceptible a los sentidos, es un elemento variable que da cuenta de la posición de un individuo en una jerarquía en la cual el hombre

[8] Para Foucault una episteme es lo que define las condiciones de posibilidad de todo saber, por lo que en una cultura y en un momento dado, nunca habrá más que una sola episteme (Gómez, 2010). En palabras de Foucault (1968) la episteme en la que los conocimientos, considerados fuera de cualquier criterio que se refiera a su valor racional o a sus formas objetivas, hunden su positividad y manifiestan así una historia que no es la de su perfección creciente, sino la de sus condiciones de posibilidad.

[9] Cuando se habla de un cuerpo en este contexto no se hace distinción entre los organismos, las rocas o los astros.

estaría situado en las más altas esferas. De acuerdo con Jacob (1999), para esta época la existencia de un alma que dé cuenta de las propiedades de los seres vivos se convierte en algo tan necesario como hoy es la electricidad para explicar las tormentas. Por el contrario, el calor innato es perceptible y un elemento en común a todos los seres vivos. Este calor, fuente de toda vida, lo ha situado el Creador en los animales y plantas que poseen el poder de engendrar semejantes, en particular, en el líquido seminal masculino capaz de activar y dar forma a la materia contenida en el líquido seminal femenino (Jacob, 1999).

Asimismo, el conocimiento de los objetos se caracteriza por emplear analogías y similitudes que vinculan organismos con hechos mágicos y mitológicos que tendrían una finalidad, una suerte de moraleja o designio divino dictaminado por un Creador[10], es decir, tendrían un carácter teleológico. De acuerdo con Jacob (1982), se trata siempre de explicar el mundo visible mediante fuerzas invisibles, de articular lo que se observa con lo que se imagina, explicar un fenómeno equivale a considerarlo como el efecto visible de una causa oculta, ligada al conjunto de fuerzas invisibles que parecen regir el mundo.

Por otro lado, la naturaleza presenta un carácter de continuidad que, por obvias razones, no se podría discretizar, anulando la posibilidad de establecer categorías, lo que impone el establecimiento de jerarquías. En una jerarquía se establecen relaciones verticales en las que a la base de la pirámide se ubican aquellos elementos (las piedras y los hongos por citar un ejemplo) que poseen un grado bajo de la cualidad y en la punta el Creador con un alto grado de la cualidad, bien

[10] Un ejemplo lo podemos encontrar en la *Bula Sublimis Deus* del 9 de junio de 1537, papado de Paulo III. En este documento el papa reconoce a los indios americanos como hombres. "El Dios sublime amó tanto la raza humana, que creó al hombre de tal manera que pudiera participar, no solamente del bien de que gozan otras criaturas, sino que lo dotó de la capacidad de alcanzar al Dios Supremo, invisible e inaccesible, y mirarlo cara a cara; y por cuanto el hombre, de acuerdo con el testimonio de las Sagradas Escrituras, fue creado para gozar de la felicidad de la vida eterna, que nadie puede conseguir sino por medio de la fe en Nuestro Señor Jesucristo, es necesario que posea la naturaleza y las capacidades para recibir esa fe" Disponible en http://webs.advance.com.ar/pfernando/DocsIglLA/Paulo3_sublimis.html, consultado el 2 de octubre de 2014.

sea la perfección, la complejidad, la divinidad. Las líneas entre lo vivo, lo no vivo y lo divino son difusas.

En este sentido, para explicar la existencia de un ser, se precisarían de algunos de los siguientes aspectos (Jacob, 1999):

1. La existencia de un alma que dé cuenta de las propiedades de los seres vivos.
2. Para el siglo XVI la generación espontánea es tan natural y comprensible, si no más, que la generación por simientes.
3. Para describir la generación, el siglo XVI utiliza, si no modelos, al menos imágenes extraídas de dos actividades creadoras del hombre: la alquimia y el arte.
4. La descripción del mundo vivo del siglo XVI está llena de los monstruos más variopintos. Los monstruos expresan siempre semejanzas, pero estas se han convertido en heteróclitas[11] y no se corresponden ya con el juego normal de la naturaleza. Las combinaciones y los signos descifrables no se refieren al orden del mundo, si no a los errores que pueden deslizarse.
5. Física o moral, cada desviación que se produce al margen de la naturaleza da un fruto contra natura, porque la naturaleza también tiene su moral.

Es evidente cómo para los pensadores de esta época, la naturaleza se comportaría como el arquitecto o el escultor que erige una obra o que impresiona las formas naturales. Así, los seres vivientes guardan relaciones entre ellos que retratan la forma de sus estructuras. De acuerdo con esto, una hoja o un fruto con forma de corazón fortalecerán o anularan el funcionamiento de este órgano en un animal, y especialmente en el ser humano[12]. Entonces los seres vivos esconden relaciones y describir las similitudes entre ellos, posibilitará realizar filiaciones a nivel horizontal entre organismos que pertenecen a las mismas generaciones. Pero también, se podrían realizar filiaciones a nivel horizontal entre individuos y sus ascendentes. La idea de que un semejante produce un semejante esta a la base de la explicación. Sin embargo, Jacob (1999) señala que el juego de las

[11] Irregular, extraño y fuera de orden.

[12] Tal es el caso de las hepáticas, que reciben este nombre por su parecido con la forma del hígado humano, e incluso se asume que por ello, tienen poderes curativos sobre este. En la actualidad se sabe que dichas plantas no tienen propiedades medicinales.

semejanzas oscurece los retratos y tapa las diferencias. Y es en estas últimas (la variación) en la que podemos hablar de agrupaciones de organismos.

En el siglo XVI la explicación del parecido entre padres e hijos se sitúa en la generación, pero esta va a cambiar, según Jacob (1999), de papel y estatus gracias a tres elementos:

7. El aspecto de los seres vivos y su estructura se convierten en objeto de análisis y clasificación.
8. La generación de un ser no puede ya construirse en un hecho aislado, único e independiente. Se convierte en la expresión de una ley que da fe de la regularidad del universo.
9. El interés no se concentra ya en la creación de la naturaleza, sino en su funcionamiento en el presente. En lugar de una contemplación, de una exégesis, de una adivinanza, la ciencia de la naturaleza es un desciframiento.

Lo anterior viene ligado con el advenimiento de diversos avances tecnológicos, como la incorporación del microscopio de Leeuwenhoek y sus observaciones de diferentes fluidos relacionados con la formación de un organismo, que originaron una serie de preguntas, entre ellas ¿cuál de las dos simientes, macho o hembra, contiene el germen? Según Jacob (1999), para dar respuesta, se desarrollaron dos escuelas: una que sitúa el germen en el huevo y por ende en la hembra, en quien yace, inerte, la miniatura del futuro ser vivo, esperando en el ovario la hora de la fecundación y en donde la función del macho se limita a la activación del germen, gracias al líquido espermático. La otra que sostiene la tesis inversa y sitúa el germen en los animálculos que nadan en el líquido seminal del macho, atribuyéndole por entero la fecundidad. Esta disputa queda zanjada a favor de la primera escuela gracias al descubrimiento de la partenogénesis por parte de Charles Bonnet en 1745, quien al aislar pulgones encuentra que un individuo es capaz de producir su descendencia sin la necesidad de estar en contacto con otro. Esta descendencia se originaría a partir del ovulo, en el qué estaría dibujado en miniatura el futuro individuo antes de la fecundación. Este descubrimiento genero muchas dudas sobre el papel de de los gusanos espermáticos (espermatozoides) en la generación de un individuo (Jacob, 19999), e implicó un intenso trabajo

experimental, derivado de indagaciones mecanicistas. La fecundación artificial, como una actividad observable y mesurable, se convierte en la precursora del análisis experimental. Estas construcciones afianzaron la idea de preformación como explicación de la formación de un organismo. Producto de estas intensas discusiones se visibiliza o traza un incipiente hilo: la experimentación.

2.1.2. La especie

Ya que es más fácil describir las plantas que los animales, el microscopio amplía las posibilidades de escudriñar en el interior de ellas, lo que facilita abordar la complejidad de su estructura. Una dificultad que se deriva de este acercamiento, se evidencia desde la tradición del naturalista y es que, como lo advirtiera Buffon, los individuos están en la naturaleza y las agrupaciones que de ellos hemos realizado son producto de nuestra mente. En este sentido, Jacob (1982) indica que para aportar una observación que posea algún valor científico es necesario, de entrada, tener una cierta idea de lo que hay que observar, lo que implica tomar una decisión acerca de lo que es posible. Esto impone una condición para estudiar y clasificar las plantas: es necesario poder representarlas en un sistema de símbolos, es decir, nombrarlas (Jacob, 1999).

Clasificar las plantas supone al menos dos técnicas según Jacob (1999): un sistema y un método. El sistema implica una serie de concepciones que, puestas en marcha, dan un marco para interpretar las observaciones y descripciones de los objetos y las relaciones que los vinculan. El método no requiere de esta condición, supone un minucioso estudio de las similitudes y diferencias entre las plantas desde un modelo hipotético y sus posibles desviaciones.

Desde estas tendencias, se derivan la formación de las jerarquías que fundamentan el sistema de clasificación. Sin embargo, Jacob (1999) indica que, si los sistemas y el método poseen cada uno su lógica interna, ésta no tiene relación con la realidad de la naturaleza, por lo que se debe recurrir a un elemento exterior

que no esté únicamente en la estructura visible de los seres, sino en la permanencia de esta estructura a través de las generaciones. Así, no solo este concepto de especie, surgido a finales del siglo XVII, permite agrupar a los seres, sino que además los vincula en el tiempo de generación en generación, en la medida en que persiste la estructura básica, el carácter[13] básico.

2.1.3. La reproducción

En su forma moderna, las ciencias nacieron hacia el final del renacimiento, en una época en la que el hombre occidental estaba transformando radicalmente su propia relación con el mundo que le rodeaba; una época en la que intentaba sin desmayo volver a crear un universo en consonancia con la percepción de sus sentidos (Jacob, 1999). Sin embargo, no es sino hasta el siglo XVIII, con la emergencia de la reproducción, en el que se da un sentido a la existencia del individuo, al establecer que en un ser vivo todo está dispuesto con vistas a este proceso, pero, aunque éste constituye la causa misma de su existencia, también se convierte en su fin: está condenado a reproducirse o desaparecer (Jacob, 1999).

De este modo, los caprichos, juegos, juicios, castigos y estímulos de las deidades en el momento del denominado “acto de engendrar” comienzan a cambiar y, con el advenimiento de un nuevo ser, se despliega todo el juego de posibilidades. Este juego estaría mediado por un elemento presente en el seno del mismo individuo, lo que conlleva a trazar vínculos entre plantas, animales, hongos, entre otros, que darían cuenta de su origen y establecen una regularidad en la naturaleza. En

[13] Jacob (1999), parafraseando a Tournefort, aclara que en el contexto del siglo XVII la estructura es el carcácter que distingue esencialmente las plantas entre sí. El cáracter se puede manifestar en la comparación de las plantas a través de la marca singular de un órgano preciso frente al conjunto de notas extraídas de la planta entera. Al respecto, Lineo realizaría una distinción entre cáracter artificial y el esencial o natural. El primero sería producto del clima y las condiciones ambientales, al ser accidental no constituiría un elemento valido para establecer dichas comparaciones. Por el contario, el segundo revelaría la esencia de la planta, surgido de la singularidad impuesta por la naturaleza, de tal suerte que el constituyente esencial en una planta viene impuesto por la generación sin interrupción de las especies.

todos los casos, es la reproducción la que funciona como principal operador[14] del mundo viviente; por una parte, es el propósito de un organismo y por otra, orienta la historia sin propósito de los organismos (Jacob, 1999). De esta forma, los seres vivos y en especial el ser humano, se han librado del manto de su designio. Todas sus estructuras tienen como fin la reproducción.

Sin embargo, el descubrimiento que hace realmente singular y "maravillosa" la reproducción, es el del proceso en sí. Como lo describe Jacob (1998): el encuentro de un espermatozoide y un ovulo humano desencadena una gigantesca serie de reacciones, cientos de miles de ellas que se suceden, se solapan y se cruzan en una red de sorprendente complejidad, con el único objeto de acabar, sean cual fueren las condiciones, en la aparición de un bebé humano y nunca de una cría de canario, de una pequeña jirafa o de una larva de mariposa. Pero la fecundación solo es el primer paso, ahora esa nueva célula entrará en un proceso de división que llevará a dos, cuatro, ocho, dieciséis y así sucesivamente. Que este racimo de células se agarre a la pared del útero, que se alargue, se agrande y, unos meses más tarde, forme un bebé con, en más del noventa y cinco por ciento de los casos, todo por cuanto precisa para vivir, recorrer el mundo y hasta pensar, este es el milagro (Jacob, 1998).

Sin embargo, esta mirada moderna, aún no existía a mediados del siglo XIX. Era poco lo que la ciencia tenía que decir sobre la reproducción. Hasta ese momento solo se realizaban descripciones e inventarios sobre sus diversas manifestaciones en la naturaleza. Fue hasta después de aparecer la teoría de la evolución, que la reproducción adquirió un rango científico, formulándose sus cuestiones ya no en términos de origen, sino de función. Tanto para Darwin como para Weismann en

[14] La idea de operador hace relación a la lógica kantiana en la que este se asume como la condición necesaria para que se dé una operación y evento en particular. Para el siglo XIX, resulta totalmente improcedente describir el funcionamiento de los seres organizados en términos de gravedad, afinidad y movimiento; para mantener la cohesión del ser, para asegurar el orden de la materia viva en oposición al desorden de la materia inanimada, se necesita una fuerza de una calidad especial, lo que Kant llamaba «principio interior de acción»; se necesita la vida (Jacob, 1999).

1985, ésta servía para producir la variabilidad individual lo cual llevaría, gracias a la selección natural, a la creación de nuevas especies (Jacob, 1982). De esta forma, como lo indica Jacob (1982), si hacen falta dos para reproducirse, es para hacer otro, considerando entonces la reproducción como un mecanismo generador de diferencias. Evidenciamos así, cómo lo vivo tiene su propia matemática en la que uno mas uno son tres.

El análisis de los seres vivos desprovisto del halo mágico que antes gozaba, pasa ahora a considerar a los individuos como máquinas. Las explicaciones de esta época están impregnadas por las ideas de la física de Newton. Jacob (1999) indica que dentro de los nuevos argumentos empleados para el análisis de los seres vivos están:

1. Los seres, o bien son las máquinas de las que sólo cabe considerar formas, dimensiones y movimientos, o bien escapan a las leyes de la mecánica, y entonces hay que renunciar a cualquier unidad, a cualquier coherencia del mundo.
2. La identidad: entendida como unidad autónoma, no es ni una metáfora, ni una comparación, ni una analogía.
3. El mecanismo es tan natural y tan necesario en esta época como lo será una cierta forma de vitalismo en el inicio de la biología.

Un ejemplo de mecanismo lo ofrece Harvey y su analogía entre el corazón y una bomba y la circulación con un sistema hidráulico[15]. A este tipo de explicaciones se le opone el animismo con dos componentes (Jacob, 1999):

1. En primer lugar, está la necesidad de valorar lo viviente. En los seres vivos los fenómenos no son sólo más complejos: también son más perfectos. La necesidad de valorar lo viviente en general, y el hombre en particular, se traduce en dos clases de antropomorfismo (la prolongación de la jerarquía hasta el infinito de una inteligencia soberana, o inversamente, la traslación al conjunto de las formas vivas de ciertas cualidades propiamente humanas).
2. En segundo lugar, reacciona contra el mecanicismo cartesiano y los abusos del mismo, sobre todo cuando se lleva la lógica al extremo de D´Holbach y La

[15] En su libro *De Motu Cordis* (1628), Harvey consideraba que el corazón e incluso todo el sistema circulatorio, eran estructuras vistas en términos mecánicos, para lo cual utilizó diversas metáforas en sus explicaciones-descripciones: las aurículas son como cisternas; el pasaje de la sangre a través de las arterias como la expulsión de un liquido por un sifón (aparato similar a una bomba) (Borches, 2011).

> Mettrie[16], ya que en esta corriente es absurdo reducir el estudio de los seres vivos solo al estudio de las leyes de la mecánica, de esta forma se debe considerar un alma y una inteligencia.

Los seres vivos son objeto de análisis y su descripción, que antes los asumía como estructuras de primer orden[17], se comienza a realizar desde los procesos que regulan su funcionamiento. La tradición reduccionista o tomista comienza a desplegarse y nuevos hilos se desarrollan cambiando la forma en que entendemos el mundo viviente.

2.2. EL HILO DEL MUNDO VIVIENTE: TEORÍA CELULAR

El segundo hilo de la urdimbre es el hilo de la teoría celular, el cual se desarrolla dentro de la tradición tomista – reduccionista, bajo la tutela de la botánica y la fisiología. Sin embargo, para que este se constituyera en un pilar fundamental de la biología, se necesitó que en el transcurso del siglo XVIII al siglo XIX se diera un cambio en la observación: se pasa de las exterioridades, como objeto de análisis para dar cuenta de lo vivo, al organismo como una estructura de segundo orden denominada: organización, en donde lo oculto cobra importancia en el estudio de lo vivo; se pasa de un análisis de los elementos que conforman los objetos, a las relaciones internas que dan cuenta de la función, en donde ésta explica la exterioridad. El análisis adquiere profundidad, hace mella en el joven naturalista del siglo XVIII y en el infante fisiólogo. En estas dos tradiciones se perfilan tres elementos indispensables como objetos de análisis: los órganos, la función y el

[16] Contribuyeron a instaurar el paradigma mecanicista materialista con fuerte tendencia monista. libre de todo teologismo y finalismos encubiertos, estableciendo, con distinta firmeza y radicalidad, la continuidad entre lo inerte y lo vivo, entre la sensibilidad y el conocimiento en sus distintos grados (Bermudo, 1978).

[17] Jacob (1999) utiliza cuatro estructuras de orden superior para explicar la manera de concebir la formación de los seres vivientes. En la primera se sitúa la descripción y disposición de las superficies visibles a principios del siglo XVII; la segunda estructura se denomina la "organización" donde engloba los órganos y las funciones y termina por resolverse en las células (estas dos estructuras las hemos citado previamente); en la tercera estructura encontramos los cromosomas y los genes a comienzos del siglo XX, ocultos en las células; y finalmente, a mediados del siglo XX, sitúa la cuarta estructura en la molécula de ácido nucleído, en la que descansa la conformación y propiedades de todo organismo.

medio. De la relación de estos tres elementos se deriva lo que llamaremos "*interacción*".

En este análisis cobra importancia la cuestión de la constitución de los seres vivos. Las observaciones ya no centran la mirada en las estructuras superficiales, sino que, con el desarrollo de la microscopia, se enfocan en lo que hay en la profundidad de los seres vivos. Una nueva regularidad se instaura en el mundo viviente: plantas y animales presentan unidades que en primera instancia parecían totalmente diferentes, pero que ahora, bajo una nueva explicación, la teoría celular, dan cuenta del origen, estructura y funcionamiento de un ser viviente.

Pero antes, fue necesario discretizar el objeto de análisis, es decir, concebir al ser organizado como un conjunto de partes que pueden separarse o disociarse. Ya que el fin de todo ser viviente es reproducirse, es necesario explicar cómo se origina un organismo y cómo participan los componentes estructurales de los padres en este proceso. Al respecto Maupertuis en el siglo XVII postulaba que las partículas presentes en el líquido seminal se confunden con las que constituyen el cuerpo del organismo y le confieren sus caracteres. De tal forma, que todo líquido seminal contiene la mayoría de partículas idénticas a las que componen el cuerpo del progenitor, lo que se traduce en una especie de memoria que sería la responsable de que el niño se parezca a sus padres, pues está formado por partículas idénticas. Al reencontrarse las mismas partículas en el líquido seminal generación tras generación, los rasgos se perpetuán por filiación. Este planteamiento no distingue, por lo tanto, entre el "rasgo familiar", la partícula material que entra en la composición del cuerpo para darle ese rasgo y la partícula de líquido seminal que determina la reproducción (Jacob, 1999). Es el desarrollo de la teoría celular, lo que aportaría numerosas precisiones frente a las estructuras materiales en las cuales podemos situar estos procesos.

En el marco de la preformación, la memoria sería la encargada de conservar la estructura exterior, lo que plantea dos formas de abordar el problema: a través de

una memoria indiferenciada o una memoria diferenciada. En la primera, Maupertuis señala que la memoria que dirige las partículas vivientes para formar un embrión no se distingue de la memoria psíquica. La materia misma está dotada de memoria, así como de "inteligencia, deseo o aversión". Las partículas vivas se atraen entre sí por afinidad, pero sólo la memoria que poseen explica su localización en el embrión. En la segunda, Buffon desde el materialismo, plantea por el contrario que la memoria conserva la imagen de los padres en la generación y determina la posición de las moléculas orgánicas en el hijo; no es una virtud común a todo grano de materia, sino una estructura particular. Las partículas no pueden reencontrar la forma de los padres sin un modelo que las dirija, sin un molde que las ordene (Jacob, 1999).

Es palpable la necesidad de explicar las relaciones entre individuos, padres e hijos, a través de las interacciones entre los diferentes órganos del cuerpo y su aporte a la prole, de tal forma que existe un molde que es el encargado de conservar los aspectos más relevantes. Pero definir en qué estructura y cómo se podía posibilitar este proceso, requería el desarrollo de numerosas técnicas para auscultar al interior de estructuras aún más finas o fundamentales, así como la constitución de marcos teóricos que integren las explicaciones y cuestiones que irán surgiendo.

Con el surgimiento de la organización como objeto de análisis, en los términos descritos por Jacob (1999), este tipo de preocupaciones recobran un nuevo sentido. El análisis del exterior (el órgano) y el interior (sus funciones), el estudio de lo vivo se transformará, ganando en profundidad y estableciendo nuevas relaciones. La introducción de la organización tiene diversas consecuencias:

1. La totalidad del organismo, que en lo sucesivo, aparece como un conjunto integrado de funciones, es decir, de órganos (Jacob, 1999). Este hecho inclina la balanza a favor de la continuidad en los organismos y llama a escena a su antigua antagonista: la discontinuidad.
2. La idea de que el ser vivo no es una estructura aislada en el vacío, sino que se inserta en la naturaleza y establece relaciones variadas con ella (Jacob, 1999).

El foco en este punto se centrará en la botánica, numerosos trabajos a nivel histológico, en especial aquellos seguidos por Schleiden quien es considerado como uno de los primeros botánicos en desarrollar un cuerpo teórico en torno al conocimiento de la organización y estructura en las plantas. Su pensamiento se fundamentó en la filosofía natural de Kant, que marcaría el pensamiento de la ciencia natural de finales del siglo XVIII, específicamente en el que todo conocimiento comienza con la experiencia. De esta forma, la ciencia natural es el conocimiento de la realidad, tal como nosotros la observamos, y no un conocimiento de la realidad, tal cual es (Albarracín, 1983).

En esta concepción la botánica se constituye como una ciencia deductiva donde encontramos parte del fundamento filosófico y experimental, que permite asumir la herencia como un problema de conocimiento biológico. Al respecto Albarracín (1983) señala que Schleiden concibe la botánica como una ciencia que debe limitarse a crear un fundamento seguro para la inducción empírico-física. En tal sentido dictaría unas máximas conductoras generales y unos medios auxiliares especiales que se presentan en la tabla 5.

Tabla 2. Máximas conductoras generales y medios auxiliares especiales propuestos por Schleiden (Elaborada por los autores a partir del análisis de *La teoría celular de Agustín Albarracín Teulón, 1983*)

MÁXIMAS CONDUCTORAS	MEDIOS AUXILIARES
1. La ciencia natural estudia el cuerpo, no el espíritu. 2. Ley de la unidad: no existe más que una ciencia natural. 3. Ley de la economía: no debe admitirse una nueva hipótesis en tanto que baste con las anteriores. 4. Ley de la acción y de la reacción: de los fenómenos simultáneos, uno no puede ser causa del otro.	1. Una terminología reducida, sin apelación a términos innecesarios. 2. Utilización no abusiva del testimonio de las autoridades. 3. La observación y el experimento son los medios más importantes para la investigación. Máximas directrices para ello son el pensamiento embriológico, la concepción autonómica de la célula vegetal y la utilización del microscópico. 4. No existe una regla para la utilización del método inductivo.

Estas máximas vendrían a convertirse en principios heurísticos que fundamentan una ciencia inductiva que encontraría en la embriología, un principio para conocer el organismo. Esto acercaría al hombre de ciencia al origen del cuerpo orgánico.

El problema del origen se plantea desde el mismo momento en que Robert Brown, en 1836, realiza observaciones de células y describe el núcleo. Es Schleiden uno de los primeros en poner está cuestión sobre la mesa cuando indica: “el núcleo celular está en relación muy inmediata con el origen de la propia célula, como consecuencia dirigí mi especial atención sobre este punto y tuve la fortuna de ver coronado con éxito mis esfuerzos” (Albarracín, 1983).

Las descripciones del citoblasto (núcleo) y de numerosas sustancias inorgánicas que intervienen en los procesos vitales de las plantas como el almidón, el moco, el azúcar y la goma, además del empleo de variadas técnicas de análisis químico, representan una nueva forma de conocer lo viviente, en la que la manipulación y modificación entrarían a formar parte del quehacer del investigador.

Según Albarracín (1983) con Schleiden la célula adquiere un nuevo status:

1. La célula es la unidad elemental constitutiva de la estructura de la planta.
2. La célula se origina en una gelatina compleja a través de un proceso que se inicia con la aparición en ella de los nucléolos; en torno a estos surge la aparición de una tenue vesícula que va creciendo paulatinamente, hasta dar lugar a la célula adulta.
3. El proceso de crecimiento de la planta estriba en la multiplicación de las células dentro de otras células, salvo en los órganos leñosos, en los que la coagulación de un líquido da lugar a la formación súbita de tejido celular.

Sin embargo, hasta este punto los vegetales y animales estaban constituidos por unidades elementales diferentes. Pero con los trabajos de Theodor Schwann, donde campea la tradición tomista o reduccionista en el trabajo del fisiólogo, se viene a trazar un hilo que vincula a los seres vivientes. El hilo de la continuidad de los organismos ya no desde los fines teleológicos, sino desde la misma constitución. Bajo la tutela de J. Müller estas ideas están plagadas de numerosas

técnicas para analizar los tejidos vivos, que incluyen su extracción, macerado, tinción, observación, entre otros. También se marca la distancia frente al vitalismo y su idea de una fuerza vital como principio rector de lo vivo.

Albarracín (1983) señala que el objetivo perseguido por Schwann ha sido demostrar que, en la formación de las partes elementales de los organismos, las moléculas no se reúnen de manera distinta según la significación fisiológica de tales partes, sino que, en general lo hacen de acuerdo con las mismas leyes (sea una fibra muscular, un tubo nervioso, un hueso o un corpúsculo sanguíneo), esto es, existe un principio de desarrollo común para todas las partes elementales del organismo. Son numerosas las observaciones realizadas en distintos tejidos que sustentan esta afirmación y que se concentran en la formación de la célula y los citoblastos (núcleos).

La postura antivitalista de Schwann no solamente cuestiona la idea de una fuerza vital o fuerza del organismo, sino también la idea de totalidad del organismo, como lo explica Albarracín (1983):

> El todo está potencialmente en el germen y el desarrollo es una actualización de tal potencialidad. En el germen, el principio creativo o vis, (cuyas operaciones se llevan a cabo de conformidad con un plan racional), origina una diferenciación de una masa inicialmente amorfa. La fuerza orgánica que reside en el todo… posee… el poder de generar de la materia orgánica los órganos individuales necesarios para el todo. Esta cuestión parte- todo está a la base de la tensión en la teoría celular cuestionando el status de la célula frente al organismo total.

Con el desarrollo de los estudios sobre la célula se plantearon nuevas ideas sobre la organización de los seres, de tal forma que el problema de la reproducción toma un sentido más profundo. Estos aportan una misma solución a dos problemas aparentemente distintos: 1) al descomponer los seres en células, dotadas cada una de ellas de todas las propiedades de lo viviente, esta teoría proporciona al proceso de reproducción un significado y un mecanismo; 2) el aumento del poder de resolución del microscopio, el emplear lentes acromáticas, le va a permitir a los hombres de la época reconocer que todo ser vivo termina resolviéndose en una

colección de unidades yuxtapuestas. Lo que Schleiden generaliza para los vegetales y Schwann para los animales se estructura bajo la forma de una “teoría celular”. La organización de los organismos en este punto no se limita a una teoría celular basada únicamente en la cuestión de la estructura. Con Schwann, la posición y el papel de la célula dan un giro. La célula deja de ser el último término del análisis de los seres vivos, para convertirse a la vez en la unidad de lo viviente, es decir, la individualidad que detenta todas las propiedades, y en el punto de partida de todo organismo (Jacob, 1999).

La Teoría Celular instaura una segunda regularidad entre los seres vivos, crea un vínculo entre todos y cada uno. Un hilo que se forma al unir las fibras de las plantas y animales. Este hilo se fundamentaría en tres niveles: el origen, la estructura y la interacción, los cuales constituirían una base desde la cual los marcos de interpretación de lo viviente, entran a operar y explicar su funcionamiento. Ahora el mundo viviente tiene un nuevo elemento de continuidad: la célula traza vínculos y la reproducción ahora está dada en términos de lo que acontece a las células. Como lo indica Jacob (1999), lo interesante no es tanto encontrar células en todos los tejidos, e incluso que todos los tejidos estén constituidos por células, sino que la célula misma posea todos los atributos de lo viviente, que represente el punto de partida necesario de todo cuerpo organizado. La organización del mundo viviente, por lo menos a lo que al individuo concierne, está fundada en las células. Es ahora la fisiología y sus métodos el marco de interpretación desde la cual se describirá lo viviente.

De esta forma, se atisba lo que vendría a ser una condición experimental que implica la alteración de las estructuras y su funcionamiento, lo que conlleva a dos consecuencias para observar lo viviente. En palabras de Jacob (1999):

> El experimentador interviene directamente, extrae un órgano, lo aísla, lo hace funcionar, altera las condiciones del experimento y analiza las variables […] la teoría celular explica los seres vivos no como totalidades indivisibles, sino como asociaciones de elementos. Sea su complejidad, un organismo no es más que la suma de sus unidades elementales […] La biología vuelve a enfrentarse con el

> problema planteado por Maupertuis y Buffon: una organización constituida por un conjunto de unidades elementales exige para su reproducción, la transmisión de una <<memoria>> de generación en generación. Durante la primera mitad del siglo XIX la cuestión de la fidelidad de la reproducción se solventa apelando a un <<movimiento vital>>. Pero sean cuales sean el nombre y la naturaleza de las fuerzas encargadas de transmitir la organización de padres a hijos, está claro que, de aquí en adelante, deberán situarse en la célula.

Es en la teoría celular donde la herencia adquiere sentido como problema biológico; ya que es en la célula como unidad fundamental de la organización donde se situará la base de la reproducción de un organismo y la "memoria" que se encarga de mantenerla de generación en generación. La herencia es accesible al estudio en tanto que se vincula con un objeto de análisis susceptible de ser auscultado, manipulado o controlado en una experiencia. De ahí la importancia de analizar la reproducción celular como una condición necesaria para comprender la herencia; al analizar la teoría celular se pone de manifiesto que los seres vivos poseen un pasado.

De todo lo descrito anteriormente se deduce, que es en la tradición reduccionista o tomista donde el botánico, el histólogo y el fisiólogo aportan a la herencia la unidad en el método, el lenguaje y el material. A finales del siglo XIX el microscopio óptico mejora su poder de resolución, pero gracias al empleo de compuestos químicos que permiten colorear selectivamente las estructuras celulares, los histólogos aumentan su capacidad de discriminación e identificación (Jacob, 1999). Con Purkinje y sus colaboradores se observan dos aportes sustanciales, por un lado, se mejoran las técnicas histológicas para preparar tejidos y observarlos en el microscopio y por el otro construyendo aparatos de compresión, inventando métodos técnicos de descalcificación y de pulverización entre otros (Albarracín, 1983), se logra mejorar las técnicas para estudiar muestras orgánicas de diferentes tipos y densidades.

El uso de un lenguaje nuevo, que yuxtapone raíces griegas o latinas, pletórico de terminología sin ambigüedades para describir los detalles de las observaciones,

pronto hará el discurso del biólogo impenetrable para el no iniciado[18]. Estas condiciones van a dotar de un cuerpo conceptual y procedimental al estudio de la herencia biológica.

En cuanto a lo procedimental, Albarracín (1983) señala que a partir de 1860 con el trabajo de Virchow y sus contemporáneos se generaron planteamientos sobre ¿cuál es la estructura de la célula? ¿cuál es su identidad en el conjunto del organismo?¿de qué modo se cumple omnis cellula ex cellula? ¿cómo se mantiene la vida celular y qué medio la rodea, haciendo posible el cumplimiento de sus funciones? por lo que las investigaciones se enfocarán especialmente en el protoplasma y el núcleo. Para ello se necesitaría de una técnica microscópica refinada capaz de hacer perceptible bajo la lente del microscopio, la fina estructura de los componentes celulares y la invención de nuevos procedimientos y métodos para corte, fijación y tinción del material de examen.

En relación con las técnicas de microscopia, Albarracín (1983) destaca la invención del primer polarizador por Nicol en 1828 y su uso en instrumentos ópticos para la descripción de tejidos animales y vegetales bajo la luz polarizada. De igual forma, la introducción del sistema condensador en el microscopio, en el marco del sistema Amici[19] por parte de Zeiss y Abbe, así como, el perfeccionamiento de los cristales ópticos, con la invención del lente apocromático, contribuyeron con el propósito de aumentar el contraste y la nitidez de las imágenes. Por su parte, la introducción del microtomo y el uso de la parafina, permitió realizar cortes finos y duraderos para la observación. En cuanto a las técnicas de tinción y fijación, el uso del ácido crómico, la mezcla de ácido crómico – acética, bicromato de potasio y cloruro de mercurio, cloroformo, parafina, alcohol, formol, ácido ósmico, mezclas cromo-osmóticas, entre otras,

[18] La facilidad para colorear el núcleo, por ejemplo, se evoca simplemente por el radical «cromo» (Jacob, 1999), que siempre indica color.

[19] Constituido por un objetivo o lente de inmersión y un aceite de inmersión. Esta técnica fue desarrollada en 1840 por el óptico italiano Giovanni Battista Amici.

asociadas a Purkinge, Flemming, Duval, Cohnheim, Weld, Schultze, Zenker y otros, pronto sustituirían el uso de compuestos de yodo para realizar coloraciones. El uso de sustancias colorantes especificas para determinar elementos tisulares como la hematoxilina, la fuchisina ácida y ácido pícrico, hierro – hematoxilina, eosina, fuchsina, safranina, hematoxilina ácida, vesuvina, violeta de genciana, azul de metileno, entre otras, permitieron la descripción detallada y la ampliación del conocimiento de la estructura celular y la fisiología de la célula. Asimismo, el uso de medios microfotográficos facilitó el análisis y comunicación de observaciones relevantes entre los distintos investigadores (Albarracín, 1983). Todo ello contribuiría a que, a partir de la segunda mitad del siglo XIX, se dedicarán esfuerzos a estudiar los problemas de la herencia biológica en el ámbito molecular.

2.3. EL HILO DE LA TEORÍA EVOLUTIVA

Con el joven naturalista del siglo XVIII, se inicia una tendencia a comparar los órganos y sus relaciones en diferentes seres vivos. La analogía ahora recobra un nuevo sentido en relación con las funciones y el medio. Por su lado, el fisiólogo pasa de explicar al ser vivo como una asociación de órganos autónomos a una red que depende de unos elementos interrelacionados para dar cuenta de un organismo. En este sentido, se avizoran los primeros hilos de la discontinuidad al lograr separar los seres vivos, por su organización, de otras cosas.

El joven naturalista ligado a la tradición integrista o evolucionista, realizará contribuciones a la herencia biológica desde la teoría evolutiva, ya que para hablar de los seres aparecerá en escena el tiempo, a lo largo del siglo XVIII, como variable que despliega la posibilidad de una historia, de un origen o mejor de un comienzo. La incursión del tiempo transformará la concepción de los seres bajo dos argumentos:1) la idea de reproducción da a los seres un pasado, es decir, cada ser forma parte de una cadena anterior formada por los padres, los abuelos y toda la filiación monótona por la cual se perpetúa la especie; 2) la existencia de

una serie de cataclismos que han conmovido al mundo que habitan los seres y que han dejado una huella en su devenir, rompiendo con el esquema rígido desde el cual se había erigido el concepto de especie (Jacob, 1999).

Este viraje en la observación y descripción de los seres pronto nos conducirá al estudio de los organismos, que se constituyen en entidades biológicas relacionadas entre sí, lo que Jacob (1999) liga al origen, la continuidad, la inestabilidad y la contingencia; donde el *origen* se relacionaría con la posibilidad de que todos los organismos descienden de un antepasado. La *continuidad* nos sitúa en el campo de que "lo viviente solo puede nacer de lo viviente". La *inestabilidad* hace alusión a la variación dentro de unos rangos, donde se mantiene constancia entre los seres vivos, y la contingencia que riñe con los fines teleológicos, donde la naturaleza no tiene un fin superior para el organismo.

El tiempo juega un papel crucial en la génesis de todos los seres, ya que al estar definidas las fronteras entre lo orgánico y lo inorgánico, se puede atribuir un mismo origen a todos los seres, estableciendo un nexo que los liga con un parentesco común con bases orgánicas (Jacob, 1999). Este planteamiento acompañado del registro fósil, nos lleva a pensar que en el devenir de los organismos han existido eventos que han reportado profundos y trascendentales cambios acompañados del surgimiento y extinción de incontables especies. Estos procesos están sujetos a eventos azarosos (contingentes) alejados de toda finalidad.

El origen vincula a los organismos y pone de manifiesto que ellos presentan una historia evolutiva cuya base vendría a cimentarse desde la teoría celular. De esta forma, el origen ya no representa el punto de partida sino las condiciones de surgimiento donde las fuerzas exteriores actúan y modelan, lo que Nietzsche

(1887) denominaría *Entstehung*[20]. En él convergen necesariamente todos los proyectos de organización, donde se anulan todas las distancias, desigualdades y diferencias. Con la teoría celular, la célula es, al mismo tiempo, el constituyente universal de todos los cuerpos vivos y lo que une una generación con la siguiente. El desarrollo de cualquier organismo se realiza siempre a través de una serie de transformaciones en la que las células se multiplican, se diferencian y se organizan en una serie de formas (Jacob, 1999).

Con un origen común, los organismos ahora se entrelazan a través del tiempo, existen lazos que los unen o los separan. Esta relación en el tiempo se denominaría vertical porque relaciona diferentes generaciones a través de la reproducción. Sin embargo, la conexión no solamente se establece entre individuos de la misma especie, ahora la trama conecta a otras especies similares como lo viene a poner de manifiesto el registro fósil; los fósiles representan la evidencia que se encuentra enterrada en las capas de las rocas formadas en otras épocas. El análisis del registro fósil demuestra similitudes, pero también marcadas diferencias entre los organismos actuales y aquellos que poblaron la tierra; su estudio constituye un excelente elemento para cuestionar la permanencia o invariancia, asociado al concepto de especie propuesto por Linneo y la tensión que se genera al hablar de la variación en el marco de los procesos reproductivos.

La principal contribución de la evolución a la herencia biológica estriba en poner un nuevo objeto de análisis: la población. Se le atribuye a Darwin la transformación radical de la actitud hacia el mundo vivo, al no considerar solo a los individuos, sino a las poblaciones (Jacob, 1999). Los cambios y variaciones

[20] De acuerdo con Foucault (1968): *Entstehung* designa más bien la procedencia, la emergencia, el punto de surgimiento; es el principio y la ley singular de una aparición. Nietzsche genealogista rechaza, al menos en ciertas ocasiones, la búsqueda del origen (*Ursprung*) porque en primer lugar [la búsqueda del origen] se esfuerza por recoger allí la esencia exacta de la cosa, su más pura posibilidad, su identidad cuidadosamente replegada sobre sí misma, su forma móvil y anterior a todo aquello que es externo, accidental y sucesivo; buscar un tal origen, es intentar encontrar «lo que estaba ya dado», lo «aquello mismo» de una imagen exactamente adecuada a sí. Por el contrario, la búsqueda de la procedencia no funda, sino que remueve aquello que se percibía inmóvil, fragmenta lo que se pensaba unido; muestra la heterogeneidad de aquello que se imaginaba conforme a sí mismo.

observadas en los individuos pasan ahora a observarse en el marco de un nuevo nivel de análisis, la población, lo que permitirá discretizar no solo la permanencia sino también la variación entre individuos de la misma generación y entre sus ascendentes y descendientes. Serán las poblaciones sobre las cuales se establecerán nexos, no solo horizontalmente (en términos de los eventos que acompañan la historia en su propio tiempo) sino también verticalmente (en términos de los eventos que han acompañado las sucesiones y que, en forma azarosa, han marcado las variaciones que han quedado impresas en la estructura de sus individuos). Permanencia y variabilidad son puntos a la base de la discusión.

De acuerdo con Jacob (1999), se trata entonces de conocer la población en su conjunto a través de su distribución; son los individuos, con sus particularidades, sus diferencias, sus variaciones, los únicos que poseen una realidad concreta. De tal forma que la reproducción de los seres vivos toma nuevos matices, ya que en ella surgen o se acentúan nuevas particularidades. Esta se convierte en el operador principal del mundo vivo, fuente a la vez de la permanencia y de la variación, el proceso a través del cual se mantienen y se diversifican las estructuras, las cualidades y los atributos de los seres (Jacob, 1999).

En este contexto, la reproducción se convierte en un mecanismo que sitúa en la célula, tanto la permanencia como la variación en las estructuras que exhiben los individuos dentro de una población. De esta forma, el análisis de las poblaciones se constituye en una condición necesaria para fundamentar la herencia como un campo de estudio biológico. Lo que hará accesible la herencia a la experimentación es la observación no de individuos, sino de poblaciones unidas por los lazos de parentesco, enfoque que Darwin ya había adoptado para hacer derivar la variación de las fluctuaciones estadísticas inevitables en las poblaciones grandes (Jacob, 1999), aspecto que la genética moderna vendría a formalizar en la estadística y la observación del desarrollo de los embriones y los individuos en diferentes generaciones ¿En qué consistiría la memoria de la herencia? y ¿qué

mecanismos la rigen? Son cuestiones que surgen por el camino. Será con Mendel con quien nos acercamos a una respuesta en lo que concierne a la segunda cuestión.

2.4. EL HILO DE LA HERENCIA

Para comprender las fibras que se han estructurado para originar el hilo de la herencia, debemos dar un vistazo siglos atrás de nuestro periodo de estudio. En la Antigüedad se observa una tradición más o menos discreta que consistió en prestar atención y acumular descripciones, e intentar explicar cómo se comunican los accidentes hereditarios a través de linajes y llegan a ser la causa de caracteres físicos y morales que perviven en ellos (López, 2002). Es así, como nos encontramos a Hipócrates (460 – 377 a.C.), quien 2000 años antes de Darwin, propuso su teoría denominada "pangénesis", según la cual cada parte del cuerpo produce algo que, de alguna manera, es recolectado por el "semen", siendo la base material de la herencia, ya que se desarrollaría dando lugar a los caracteres adquiridos por la descendencia. Esta idea permanecería arraigada en el pensamiento de numerosos naturalistas y fisiólogos en el siglo XVIII y se constituyó en la base fundamental desde la cual explicaron la herencia.

Un siglo después, Aristóteles en contraposición con lo afirmado por Hipócrates, señala que los individuos a veces se parecen a antepasados remotos en lugar de a sus padres [21] y que los efectos de las mutilaciones o la pérdida de partes, tanto en animales como en plantas, a menudo no se heredan. Aristóteles, más tarde, aceptó la herencia de los caracteres adquiridos[22]; pero a pesar de eso, era

[21] Aristóteles también indica que la forma de andar y de otros hábitos del movimiento, pueden reaparecer en la descendencia, y que tales cosas son difíciles de interpretar en términos de una forma simple de la hipótesis. Además, que caracteres que no están aún presentes en un individuo pueden heredarse (cosas tales como el pelo gris o el tipo de barba de un padre joven) incluso antes de que se desarrolle su barba o su pelo gris (Sturtervant, 1965).

[22] Es Jean Baptiste Lamarck quien retoma la herencia de los caracteres adquiridos. Usaquén (2009) señala que en ella, Lamarck da importancia al hábito como una característica heredable. Darwin acepta este

consciente de que no había una relación uno-uno entre la presencia de una parte en los padres y el desarrollo de esa parte en su descendencia, por lo que concluyó que lo que se hereda no son los caracteres en sí mismos sino sólo la potencialidad de producirlos (Sturtervant, 1965). Al igual que las ideas sobre la pangénesis esta idea de Aristóteles se convirtió en base fundamental de las explicaciones ofrecidas a los problemas de la herencia hasta el siglo XVIII.

En el siglo XVII, surgen algunos elementos sobre los cuales se puede controvertir, por lo menos las ideas de Hipócrates y Aristóteles. Nuevamente se tienen registros de observaciones realizadas en este tema, ligadas al campo de la reproducción, en los apuntes de Leeuwenhoek quien, con su microscopio vio espermatozoides animales y creyó que uno de ellos era suficiente para fecundar un huevo, aunque dicho fenómeno no fue identificado directamente, por lo que no fue aceptado (Sturtervant, 1965).

Pero es en el siglo XVIII, en el que el estudio de la herencia comienza a tener relevancia para los investigadores, y en el que se empiezan a construir las bases para lo que en el siglo XIX se denominó herencia biológica. Así, se encuentra que los trabajos de la época, como los realizados por Maupertuis, se centran en la descripción de pedigrís humanos y de algunos animales domesticados. Posteriormente, entre 1761-1766, Kölreuter realiza un estudio sistemático y experimental de híbridos en plantas[23], sentando los principios del tema, que cien

principio y lo relaciona con la continuidad de las formas vivientes, de tal forma que el carácter correspondería a una característica o una cualidad.

[23] Kölreuter realizó muchos cruzamientos, estudió el propio proceso de polinización, y también reconoció la importancia de los insectos en la polinización natural. Usó un microscopio simple para estudiar la estructura del polen y fue el primero en describir la diversidad de granos de polen que puede encontrarse en las plantas con semillas. También hizo estudios sobre la germinación del polen. Llegó a una conclusión errónea que retrasó el desarrollo de una clara comprensión de la fecundación, a saber, la idea de que hace falta más de un grano de polen para que se produzca una semilla normal. El resultado fue aceptado de forma general durante bastante tiempo, e incluso Darwin lo adoptó (The Variation of Animals and Plants under Domestication, Cap. 27) bajo la autoridad de Kölreuter, y de Gärtner, quien más tarde confirmaría los experimentos. Como Aristóteles y otros predecesores, creyó que la fecundación resultaba de una mezcla de fluidos, basándose en parte en sus observaciones directas sobre la germinación del polen (Sturtervant, 1965).

años más tarde serían de conocimiento de Darwin y Mendel (Sturtervant, 1965). En 1775, Immanuel Kant sugirió que las variaciones hereditarias deberían denominarse “similitudes” si “coinciden con sus derivaciones” (los hijos “salen a” uno o a ambos padres, o a algún ancestro), y “degeneraciones” (tomando aquí la noción de Buffon) si se alejan de la norma, de tal modo “que la formación original no pueda ser restaurada” (López, 2002). El hecho de que algunas características no se encontrarán de forma constante en todos los miembros de la especie, pero que fueran adquiridas por su descendencia, generó gran controversia, la cual buscó ser resuelta o ignorada con el fin de dar mayor énfasis a las teorías de la generación. En general, el terreno de lo hereditario en este período estaba vinculado a la comunicación, de padres a hijos, de componentes accidentales del cuerpo, que podían de algún modo transmitirse usando las vías de la reproducción biológica (López, 2002).

Al comienzo del siglo XIX, los trabajos realizados se enfocaron aun más en el campo de la hibridación, específicamente con plantas. Tal es el caso de Herbert quien se dedicó principalmente a cruzamientos entre plantas ornamentales, estableciendo que los cruzamientos entre especies, o no tienen éxito, o producen híbridos estériles, mientras que los cruzamientos entre variedades originan descendencia fértil (Sturtervant, 1965). Posteriormente, Gärtner entre 1839 y 1849 realizó un gran número de cruzamientos[24] que le permitieron confirmar gran parte del trabajo de Kölreuter, al obtener híbridos mediante retrocruzamientos e insistir en la mayor variabilidad de la F2 (la segunda generación) comparada con la F1 (la primera generación), a pesar de no describir los caracteres de sus plantas por separado, sino que las tratará como organismos completos (Sturtervant, 1965).

En este punto, es importante resaltar el hecho del cambio en el empleo de la palabra hereditario a partir de los primeros decenios del siglo XIX, en lo que

[24] Llevó a cabo alrededor de 10.000 experimentos diferentes, con cruzamientos entre 700 especies pertenecientes a 80 géneros diferentes de plantas, y obtuvo en total unas 350 plantas híbridas diferentes (Sturtevant, 1965).

establecería Kuhn (1994) como un cambio en el lenguaje que altera no sólo los criterios con los que los términos se relacionan con la naturaleza, sino que altera considerablemente, el conjunto de objetos o situaciones con los que se relacionan esos términos. Después del decenio de 1830 la palabra herencia, en su acepción naturalista, primero en francés y luego en otras lenguas europeas, marca el viraje decisivo, cuando el cambio del uso adjetival (en el cual siempre debía haber una peculiaridad hereditaria) al uso de un sustantivo (*Hérédité*) revela una conciencia cada vez mayor de la existencia de una vía causal a la que se podían atribuir las regularidades (y las irregularidades) observadas (López, 1992)[25].

En este nuevo contexto, hasta mediados del siglo XIX la transmisión hereditaria de los rasgos corporales (físicos) y conductuales (morales) de los padres a los hijos se volvió un objeto de teorización científica independiente, quedando claro que las cuestiones en torno a la estabilidad de las especies y la cuestión acerca de las similitudes contingentes responsables de los parecidos familiares se entretejían ceñidamente, y que aquéllas y ésta se podían explicar de una manera unificada (López, 2002). Es así como desde 1850 a 1900, la biología surge de los últimos vestigios medievales y aristotélicos[26], generándose una visión unificada cuyo paradigma no es esencialmente distinto del actual (González, 2001).

Durante este periodo son esenciales los trabajos realizados por Naudin, quien siendo contemporáneo de Mendel, estudió una serie de cruzamientos que implicaban a varios géneros de plantas, destacando la importancia de la identidad de los híbridos de cruzamientos recíprocos; la relativa uniformidad de la F1 en

[25] De acuerdo con este autor la explicación de la herencia biológica empezó siendo una explicación de la herencia humana, en especial en lo tocante a la transmisión de enfermedades mentales al interior de ciertas familias o linajes más amplios. Fue en este contexto que se pasó del uso del adjetivo hereditario o enfermedad hereditaria al sustantivo herencia o herencia de las enfermedades (Castro, 2013).

[26] Claro está que, como lo señala Atkins (2009), en el tiempo de Darwin el mecanismo que más adeptos tenia era el de la herencia de la mezcla, por el cual cada progenitor vertía sus características hereditarias en el tarro que era el hijo, y este emergía de la mezcla (…) Al fijarse en que la sangre regaba todo los órganos del cuerpo, Aristóteles adjudico la herencia a la sangre, un punto de vista que todavía hoy perdura como metáfora. En concreto, consideraba el semen como sangre purificada que durante la copulación se mezclaba con el flujo menstrual y hacia surgir la siguiente generación.

contraste con la gran variabilidad de la F2; y vio la recombinación de las diferencias parentales en la F2 (Sturtevant, 1965). Sin embargo, una de las carencias en sus trabajos fue el análisis metódico y la aplicación de conocimientos básicos de estadística que le permitieran establecer proporciones y la posible corroboración de sus interpretaciones.

Debemos resaltar que, a través de la historia, la herencia era un problema reservado a horticultores y criadores (Jacob, 1999). Ellos se dedicaban a seleccionar ciertos rasgos deseables en sus plantas y animales, tratando de acentuarlos o desarrollarlos con fines productivos y económicos. Pero los avances dados entre el siglo XVIII y XIX en la agricultura y la horticultura, fueron esenciales para el estudio de la herencia, específicamente para el trabajo realizado por Mendel. Jacob (1999) indica que, con objeto de satisfacer la moda, cada año se inventaban especies nuevas de plantas y animales, se corregían las formas y se variaban los colores, por lo que tanto para Maupertius como para Darwin (un siglo más tarde), aquello que constituye la maestría del cultivador o del criador sirve el modelo para imaginar la producción espontánea de nuevas especies en la naturaleza.

De esta forma, los problemas de la herencia se dan en este marco, pero es con Mendel en quien convergen las dos corrientes que dan lugar a la constitución de una ciencia de la herencia: el saber práctico de la horticultura[27] y el teórico de la biología (Jacob, 1999). Sus leyes encuentran un reflejo canónico en los procedimientos de selección e hibridación utilizados por los ganaderos y los productores de simientes, por lo que se podría afirmar que su obra es uno de esos

[27] Al respecto Naudin (*Revue horticole,* 1852) indica que en esos momentos, la horticultura y la botánica están unidas por unos lazos muy estrechos. La solidaridad entre ellas es tan fuerte, el apoyo mutuo que se prestan tan necesario, que deberíamos considerarlas dos miembros de un mismo cuerpo de ciencia y no dos ciencias distintas. La diferencia que existe entre ellas es en realidad la misma que separa la práctica de la teoría. Si un botánico descubre un nuevo hecho de fisiología vegetal, el horticultor se apoderará inmediatamente de él y, a su vez, devolverá a la ciencia el equivalente de lo que ha recibido confirmando, mediante ingeniosas experimentaciones, la verdad que acaba de adquirir, o mostrando al sabio el camino de nuevos descubrimientos (Tomado de Drouin, 1991).

nudos donde la historia de la agronomía coincide con la de la biología (Drouin, 1991). Los conocimientos en estos campos permiten a Mendel contemplar y encontrar regularidades sobre la forma en que se transmiten los caracteres entre generaciones sucesivas. De esto se deduce que lo que impulso a Mendel a realizar su trabajo, era tratar de entender las reglas de la hibridación, y no el mecanismo de la herencia, puesto que su motivación era llegar al fondo de la idea predominante en aquella época de que las especies nuevas surgían de la hibridación, de modo que la especie nueva era la constituida por "híbridos estables" (Atkins, 2009). Además, a Mendel le llamaba la atención cómo la hibridación de plantas ornamentales producía variantes que volvían a aparecer en generaciones siguientes, por lo que decide buscar la pauta sistemática que él pensó tenía que estar escondida detrás de lo que veía (Atkins, 2009).

El enfoque mendeliano comporta sobre todo tres elementos nuevos: la manera de contemplar la experimentación y de elegir material conveniente; la introducción de una discontinuidad y el manejo de poblaciones grandes, lo que permite expresar los resultados numéricamente y someterlos a un tratamiento matemático; el empleo de un simbolismo simple que permite un diálogo continuo entre la experimentación y la teoría (Jacob, 1999). Así, en el trabajo de Mendel observamos un enfoque en donde la selección de material de estudio es cuidadosa[28] y cumple con los propósitos de observar lo ocurrido durante varias generaciones, en primera instancia con plantas de ciclos cortos. De igual forma, presenta claridad en cuanto a lo que se debe observar y la forma en que estas observaciones serán descritas. Es claro el análisis que él hace de un gran número de individuos en donde mide sus variaciones, pero el marco de interpretación se

[28] En su artículo Experimentos sobre Hibridación en Plantas, Mendel (1865) indica que el valor y la utilidad de cualquier experimento se determinan por la aptitud del material al propósito para el cual se utiliza, y así en el caso que nos ocupa no puede ser irrelevante qué plantas se someten a experimentación y de qué manera tal experimentación se lleva a cabo. La selección del grupo de plantas que servirá para experimentos de este tipo debe hacerse con todo el cuidado posible si se desea evitar desde el principio todos los riesgos de resultados cuestionables. Las plantas experimentales deben necesariamente: 1. Poseer características diferenciales constantes. 2. Los híbridos de dichas plantas deben, durante el periodo de floración, estar protegidos de la influencia de todo polen foráneo, o ser fácilmente capaces de tal protección.

da en el conjunto de organismos, en la población. De esta forma presenta los datos recopilados, de tal manera que las regularidades son fáciles de representar gracias al diseño que precedió la experimentación.

En estas condiciones las experiencias reúnen dos consideraciones para que sus resultados sean válidos. Por un lado, las experiencias deben hacerse a una escala lo bastante amplia para poder ignorar los individuos y preocuparse únicamente de las poblaciones; por otro, hay que seguir el comportamiento de los caracteres, no solamente entre la descendencia de una pareja, sino a través de una larga serie de generaciones sucesivas (Jacob, 1999). Además, el hecho de haber escogido dos manifestaciones para cada característica, le permitió hacer un análisis sencillo a partir del cual, como lo indica Jacob (1999) se articula la teoría y la experimentación, al permitir por un lado formular hipótesis a partir de las distribuciones observadas; y por el otro, conducir inmediatamente a predicciones verificables por la experiencia. Pero la cúspide de su trabajo llega con el cálculo de la proporción teórica de las diferentes categorías, proponiendo un modelo para poder formalizar y comprobar una regla que los otros hibridadores (como Gärtner y Kölreuter) ya habían establecido de forma empírica (Drouin, 1991). De esta forma, es con Mendel con quien los fenómenos de la biología adquieren de golpe el rigor de las matemáticas, a lo que se suma la metodología, el tratamiento estadístico y la representación simbólica que confieren la herencia, toda una lógica interna (Jacob, 1999).

Así, es gracias a Mendel que la concepción del organismo y la participación de sus diferentes partes en los procesos reproductivos cambian[29]. Lo que antes se constituía en el hilo de la continuidad entre organismos, a causa de la participación de las diferentes partes del cuerpo en la formación de un nuevo individuo, vendría

[29] Al igual que Planck cuantizó la energía, hoy sabemos que Mendel cuantizó la herencia. Hoy podemos ver que su logro consistió en aportar pruebas que condujeron a la caída de la teoría, dominante en aquella época, de la herencia por mezcla, y a su sustitución, pasado el tiempo, por una teoría según la cual la información heredada se transportaba en unidades separadas (Atkins, 2009).

a convertirse en un proceso donde elementos discretos determinan las relaciones entre padres e hijos, inclinando la balanza a favor de la discontinuidad. En adelante, por lo menos desde el momento de la visualización de sus trabajos treinta años después, lo que la herencia transmite no es una representación global del individuo, ni tampoco una serie de emisarios procedentes de todos los puntos del cuerpo de los progenitores que se recomponen en el hijo, como las piedras de un mosaico, sino una colección de unidades discretas, cada una de las cuales rigen un carácter (Jacob, 1999); entes materiales en los que se asume que lo que se transmite de padres a hijos ya no es esta o esa peculiaridad concreta, nariz aguileña, dedos cortos, tendencia al reumatismo, hemofilia o polidactilia, sino que son características que podemos seleccionar para estudiar las leyes de la herencia; es la estructura completa (en cuatro dimensiones) del fenotipo, la naturaleza visible y manifiesta del individuo, lo que se reproduce y será aportada en cada transmisión por la estructura material de los núcleos de las dos células que se unen para formar un huevo fertilizado (Schrödinger, 1944). De esta forma, tras una simple observación aritmética, puede haber una complejidad enorme, en este caso la biología celular (Atkins, 2009) que lleva a la materialización de la herencia.

A partir de este momento, comienza la historia sobre la organización de este material. De acuerdo con Vera (2014), la investigación se realizó en dos frentes separados que solo llegaron a reunirse a mediados del siglo XX con la biología molecular: la “línea celular”, consecuencia fundamentalmente de observaciones microscópicas, y la “línea molecular”, en la que químicos y fisiólogos se esforzaron por conocer la naturaleza química de los materiales implicados en la herencia biológica.

Dentro de esta segunda línea, que al parecer fue la primera que rindió frutos, se encuentran los trabajos realizados por Friedrich Miescher, entre 1869 y 1871 con el aislamiento, a partir de núcleos de leucocitos que recogió de las vendas con pus

desechadas en el hospital, una sustancia que denominó nucleína[30] y que al analizarla químicamente arrojaba una composición diferente a la que se encontraba en la materia orgánica analizada en la época: nitrógeno y fósforo, por lo que este sería el primer aislamiento de lo que conocemos como ácidos nucleicos. En palabras de Miescher: la nucleína son sustancias ricas en fósforo localizadas exclusivamente en el núcleo celular (Claros, 2015). Hacia 1884, Albrecht Kossel quien llevaba varios años estudiando el núcleo celular, aisló unas proteínas nucleares que denominó histonas (nombre que sigue vigente en la actualidad) a partir de sangre de aves y empleando métodos muy sencillos.

El trabajo fue continuado por su discípulo, el químico ruso-americano Phoebus Aaron Theodor Levene quien comprobó en 1900 que la nucleína se encontraba en todos los tipos de células animales analizadas; en 1909, confirmó que los ácidos nucleicos estaban compuestos de ácido fosfórico, una pentosa (ribosa), y las bases nitrogenada; en 1929 identificó que la pentosa aislada del timo de los animales era desoxirribosa (por lo que denominó a la nucleina de los animales como nucleato de desoxirribosa que hoy conocemos como Ácido desoxirribonucleico o ADN) y la de los vegetales era ribosa (que denominó nucleato de ribosa, en la actualidad ácido ribonucleico o RNA), trabajos que le dieron gran prestigio en la química de los ácidos nucleicos, a pesar de que pronto se demostrara que se equivocó al proponer que la separación vegetal/animal coincidía con la presencia de RNA y DNA en sus núcleos (Claros, 2015). A partir de sus observaciones, creó uno de los primeros modelos sobre la forma en la que consideraba se encontraban conformados los ácidos nucleicos que designó como tetranucleótido plano[31].

[30] El término “ácido nucleico” fue acuñado posteriormente por R. Altman en 1889 (Claros, 2015).

[31] Este implicaba que los ácidos nucleicos estaban formados por planos apilados que constaban de 4 pentosas que exponían hacia el exterior las bases nitrogenadas (que van unidas por un enlace glucosídico a la pentosa); las pentosas se unen entre sí por fosfatos a través de enlaces fosfoéster, lo que respondía a los resultados sobre la composición de los ácidos nucleicos y la naturaleza de los enlaces covalentes que lo componen (Claros, 2015)

De acuerdo con Vera (2014) aquí termina lo que se podría definir como la prehistoria de esa línea molecular dedicada al estudio del material hereditario, puesto que habrían de pasar bastantes años para que se conociera la estructura de las proteínas y del DNA, pero ya a finales del siglo XIX se sabía que en los núcleos eucarióticos existían histonas y ácidos nucleídos.

Independientemente, se inició la "línea celular" con las investigaciones de Walther Flemming, a quien podemos considerar el padre de la Citogenética (Vera, 2014) por sus grandes descubrimientos en este campo. Su dedicado trabajo de tinción le permitió observar y diferenciar en los núcleos de las células, dos tipos de estructuras, una que permitía su coloración a la que denominó cromatina (prefijo *croma*-color, sufijo *tina*-sustancia), y otra que no, a la cual nombro acromatina (prefijo *a*-sin). Esta cromatina, en determinados momentos, aparecía condensada en forma de filamentos, a los que, en 1888, Heinrich Waldeyer denominó cromosomas (sufijo *soma*-cuerpo), dando paso al estudio de las estructuras de tercer orden descritas por Jacob (1999). Flemming no hizo ningún intento de describir esas estructuras en términos de su composición molecular, algo que hubiera estado fuera de lugar en la época[32], pero un año más tarde, de forma simultánea, aunque independientemente con Strasburger y Van Beneden, describió la segregación cromosomal, durante la división celular y acuñó para ese proceso el nombre de mitosis (Vera, 2014). Este hallazgo se debió a las nuevas técnicas de tinción que diseñaron e implementaron con gran efectividad.

Por la misma época y en la misma línea, Weismann (1885) expone su teoría de "la continuidad del plasma germinal", en la cual afirmaba que habían dos tejidos en el organismo: el somatoplasma (forma la mayor parte del cuerpo del individuo) y el germoplasma (porción inmortal de un organismo que tenía la potencialidad de duplicar a un individuo), es este último el que establece de generación a generación la continuidad de la información genética; a partir de estos resultados

[32] Sin embargo en la actualidad, se continúa empleando el nombre de cromatina con la nueva acepción molecular.

publica su libro «El plasma germinal: una teoría de la herencia» en el que idea un modelo donde se mete en el mismo saco la herencia y el desarrollo (Claros, 2015).

Estas pruebas y otras tantas, se fueron acumulando gradualmente. Como vemos, el lapso entre las investigaciones de Mendel y su redescubrimiento, muchos biólogos estaban interesados en la herencia, aunque no eran conscientes de los resultados de Mendel y abordaban el problema de una manera distinta (Griffiths, 2008). Es curioso cómo los análisis de los biólogos celulares posteriores como Edmund Beecher Wilson, Nettie Maria Stevens (descubridores de forma independiente de los cromosomas sexuales en 1905) y los que analizaban la mitosis, observarán que había una segregación de los cromosomas similar a la encontrada por Mendel a partir sus experimentos, pero no lograran una asociación de ambas cosas sino hasta principios del siglo XX con los trabajos del holandés Hugo de Vries, del alemán Karl Correns y del austríaco Erich von Tschermak-Seysenegg, quienes redescubren independientemente las leyes de Mendel (Claros, 2015) y logran establecer relaciones directas entre los factores particulados y los cromosomas.

Sin embargo, fue hasta 1902 que Walter S. Sutton y Theodor Bovieri propusieron, gracias a los estudios de la meiosis[33] observada en la espermatogénesis de algunos organismos, que los factores mendelianos son unidades físicas que realmente se localizan en los cromosomas, estableciendo con ello lo que se denominó la teoría cromosómica de la herencia. A cada una de estas unidades Johansen, en 1909, las denominó gen[34] (Sturtevant, 1965). En 1915 quedan

[33] Este proceso había sido descubierto en 1883 por van Beneden, al experimentar con Ascaris spp., reconociendo la individualidad de los cromosomas y mostrando que las mitades hijas de los cromosomas mitóticos pasan a polos opuestos en mitosis; que, en Ascaris, el huevo fecundado recibe el mismo número de cromosomas de los padres; y que las divisiones meióticas originan la reducción a la mitad del número de cromosomas presente en el huevo fecundado (Sturtevant, 1965).

[34] De acuerdo con Melo (2013), si bien no existe consenso en el significado actual del concepto de gen, sí es claro y ampliamente aceptado que este no puede ser considerado como una unidad ni como una entidad física, lo cual ha sido señalado por Keller (2005) como una limitante para comprender su significado actual como componente de los sistemas vivientes. Ella indica que el concepto –o los conceptos– de gen poseen

definitivamente establecidas las bases fundamentales de la herencia fenotípica al aparecer el libro «El mecanismo de la herencia mendeliana» escrito por Thomas H. Morgan, Alfred Sturtevant, Hermann Muller y Calvin Bridges, quienes demostraron que los genes están en los cromosomas y se colocan de forma lineal sobre ellos[35], elaborando así el primer mapa genético de un organismo: *Drosophila melanogaster*[36] (Claros, 2015) introduciendo esta importante especie al trabajo experimental en este campo. Si bien de Vries, Correns y Tschermak habían establecido una relación entre los resultados de Mendel y los cromosomas, es con los trabajos de Morgan que se descubre cómo los genes se transmiten a través de los cromosomas coincidiendo con los resultados obtenidos por Mendel, aspecto que ratificó con su descubrimiento de los genes ligados al sexo. Dicho sea de paso, con Morgan y su escuela se radicaliza, por ponerlo en esos términos, el uso de las prácticas de laboratorio en el ámbito hereditario, porque crea nuevos fenómenos, es decir nuevos mutantes que en la naturaleza no podrían sobrevivir, lo que sí logran hacer en el espacio artificial del laboratorio, ya que en él se establecen nuevas reglas de supervivencia (Kohler, 1993).

En este punto es importante indicar que el término genética (del griego *genos* que se puede traducir como raza, nacimiento u origen, y el sufijo –*ikos* cuyo significado es "relativo a") fue propuesto en 1906 por William Bateson para designar la disciplina dedicada al estudio de los fenómenos de la herencia, puesto que en esa época se hablaba de la eugenética (el prefijo *eu* denota que algo es bueno o está bien) término acuñado por Sir Francis Galton en 1883. Bateson también acuño el

---

una validez dada por el nicho epistémico en cual se elaboraron y poseen alto valor transicional ya que los científicos lo pueden mover de un contexto a otro, sin que pierda su valor heurístico.

[35] Por lo que Schrödinger (1944) denominó a los cromosomas como la clave o texto cifrado, por tener el esquema completo de todo el desarrollo del individuo y de su funcionamiento en estado maduro; son los instrumentos que realizan el desarrollo que ellos mismos pronostican; son a la vez los planos del arquitecto y la mano de obra del constructor.

[36] La elección de este organismo de estudio fue muy afortunada para los genetistas, por cuanto su ciclo de vida es corto y se desarrolla fácilmente en condiciones de laboratorio (Griffiths, 2008) lo cual permite hacer apareamientos de forma rápida y observar fácilmente los resultados, algo similar a lo que le ocurrió a Mendel con la selección de su espécimen de trabajo, con la ventaja de que en estos organismos se presentan caracteres heredados por genes ligados al sexo.

termino de la variación y escribió el primer libro de genética “Principios de herencia de Mendel: una defensa” (Sturtevant, 1965).

Sin embargo, en esta época la herencia se trabajaba en el mismo campo de la embriología, lo cual generaba una serie de dificultades en la realización de las investigaciones y en el desarrollo de nuevas observaciones. Esto llevó a Morgan a separar el análisis de la herencia (genética) del análisis del desarrollo embriológico (embriología) por lo que, desde entonces, las investigaciones se iban a dedicar al análisis de las mutaciones, la bioquímica implicada en la transmisión de los caracteres y las bases moleculares de la herencia (Claros, 2015). Al mismo tiempo, la genética de poblaciones, se estableció como el núcleo teórico y el componente explicativo de la teoría de la evolución, integrándose posteriormente con otras áreas como la biología de poblaciones, la sistemática y taxonomía, la paleontología, la zoología y la botánica (Sturtevant, 1965).

Un hecho relevante para la biología acontecido en 1936, fue la propuesta por parte Morgan, Fisher, Dobzhansky, Sanderson, Wright, Huxley y Mayr, de la síntesis moderna de la evolución, en la que convergieron la teoría de la evolución por el mecanismo de selección natural, la herencia mendeliana como fuente de variación a través de las mutaciones aleatorias y la genética de poblaciones (Castañeda, Castañeda & Rodríguez, 2009). Otro hecho trascendental fue el ocurrido en 1944, cuando Avery, MacLeod y Maclyn demostraron que el principio transformador es el ADN (Sturtevant, 1965) al observar que la transformación de cepas bacterianas que causan la neumonía (*Streptococcus pneumoniae*) se debe a la transferencia de un fragmento de ADN por lo que demuestran que esta molécula está implicada en la herencia, lo cual fue ratificado por Chase y Hershey en 1952 a partir de sus experimentos con el bacteriofago T2 y la bacteria *Escherichia coli* incorporando isotopos radiactivos de fósforo y azufre a los cultivos, demostrando inequívocamente que el ADN queda marcado con fósforo y las proteínas con azufre, de modo que, comprueban de manera definitiva que el ADN es la molécula hereditaria (Castañeda, Castañeda & Rodríguez, 2009), lo que abre paso a una

nueva manera de concebir la formación de los seres vivientes, en lo que Jacob (1999) denomina estructura de cuarto orden.

De acuerdo con Watson (1968) el descubrimiento de la estructura química del ADN podía ser el paso fundamental para saber cómo se reproducían los genes. Por lo que los esfuerzos de algunos genetistas, físicos y químicos, se dirigieron hacia esta tarea. Esto llevó a un tipo de práctica que empezó a adquirir un valor sin precedentes en los estudios sobre la herencia, en concreto en el contexto de la biología molecular: la modelización (Castro, 2013). Sin embargo, diseñar el modelo de la estructura del ADN era más complejo de lo que se pensaba. A diferencia de las proteínas, los datos químicos probados para esta época en relación con el ADN eran escasos, solo se conocía que eran moléculas de gran tamaño, formadas por unos componentes más pequeños, los nucleótidos (Watson, 1968). Erwin Chargaff había encontrado en 1950, que los cuatro nucleótidos no estaban presentes en los ácidos nucleicos de diversos organismos en la misma proporción, como lo había propuesto Levene (Piro, 2012) y al parecer se regían por ciertas reglas generales (ahora llamada reglas de Chargaff): por un lado el número de nucleótidos conteniendo la base adenina (A) es igual a aquellos que contienen la base timina (T); por el otro el número de nucleótidos que tienen guanina (G) iguala el de aquellos que contienen citosina (C) (Vischer, Zamenhof, & Chargaff, 1949). Con estos descubrimientos queda devaluada la teoría de tetranucleotidos propuesta por Levene, asumiendo entonces que la secuencia de bases del ADN era suficientemente rica en arreglos como para almacenar la información genética usando algún tipo de codificación, aunque Chargaff no advirtió en su momento la relevancia del segundo de sus descubrimientos, esto es las igualdades A=T y G=C, las cuales jugarían un papel clave en la determinación por Watson y Crick a inicios de 1953 de la estructura molecular del ADN, la que a su vez proveería una explicación simple de las mismas (Piro, 2012).

Otros estudios esenciales para establecer el modelo de la estructura del ADN, fueron los de la difracción de rayos X. Las primeras difracciones de rayos-X del

ADN fueron realizadas por W. T. Astbury en la Universidad de Leeds, Inglaterra, durante el período 1937-1947, aunque los patrones de difracción fotográficos resultaron demasiado difusos como para extraer más que unas pocas dimensiones moleculares características del ADN (Piro, 2012). Desde 1946, Maurice Wilkins, también desarrolla este tipo de estudios, sin tener mayores resultados. Sin embargo, su colaboradora Rosalind Franklin, quien fue contratada en 1950 para esta tarea, logra obtener una mejor calidad de fotografías cuando trabaja con ADN de alta cristalización [37] dando paso a una serie de mediciones y obtención de datos sobre la posible conformación molecular de esta estructura. Estos datos fueron analizados por Alec Stokes y le permitieron confirmación su suposición de que la molécula de ADN era helicoidal.

Con los datos que había obtenido, Franklin dicta un seminario en el King's College en el que presenta las nuevas fotos de la difracción del ADN y las medidas precisas de su contenido de agua. A este seminario asiste Watson, quien queda asombrada por la nueva información, recolectando aquella que era de su interés para el desarrollo del modelo que estaban construyendo con Crick. Creyendo tener suficientes datos y basándose en la información memoriosa de Watson sobre el contenido del seminario de Franklin, Watson y Crick construyen un modelo de ADN que consistía en tres hélices con los fosfatos hacia dentro y sus cargas negativas neutralizadas por iones de magnesio (Piro, 2012). Con el fin de cotejar el modelo con los resultados encontrados por Wilkins y Franklin, estos últimos fueron invitados al laboratorio para que expresaran sus apreciaciones sobre la posibilidad del mismo. Watson y Crick habían acordado revelar sus progresos en dos etapas: primero, Crick iba a resumir las ventajas de la teoría helicoidal y luego explicarían conjuntamente cómo habían llegado al modelo de ADN que proponían (Watson, 1968). Pero las objeciones sobre el modelo no se hicieron esperar, especialmente de parte de Franklin con respecto a los iones de

[37] Durante un congreso en Londres, Wilkins obtiene muestras extremadamente puras de ADN (extraído del timo de cabra) provistas por el bioquímico suizo Rudolph Signer y la calidad de las fotos de difracción comienza a mejorar substancialmente.

magnesio, puesto que si estos eran los que enlazaban los grupos fosfato de las tres cadenas, deberían estar rodeados por una coraza de moléculas de agua (Piro, 2012) y, por consiguiente, era poco probable que pudieran ser los pivotes centrales de una estructura robusta (Watson, 1968). Este error fue asumido por Watson como suyo, al no recordar con certeza las proporciones de agua que Franklin había encontrado en el ADN y que había expuesto en el seminario, que eran casi diez veces más que las que ellos habían dispuesto en su modelo. Al enterarse Bragg, que era quien dirigía el laboratorio, de este fracaso ordena a Watson y Crick que vuelvan a sus tareas específicas (la estructura de la hemoglobina) y dejen el estudio estructural del ADN a los investigadores de Londres (Piro, 2012). Frente a esta decisión Watson (1968) indica:

> Nadie intentó recurrir contra el veredicto. Para alivio de Max y John, no quisimos oponernos en público a la decisión de Bragg. Airear nuestra protesta habría servido para sacar a la luz el hecho de que nuestro catedrático ignoraba por completo qué representaban las iniciales ADN. No había motivos para creer que le diera ni la centésima parte de importancia que a la estructura de los metales, un asunto en el que disfrutaba enormemente fabricando modelos con pompas de jabón. Nada daba a sir Lawrence tanta satisfacción como mostrar la ingeniosa película que había hecho de cómo chocaban unas pompas con otras.

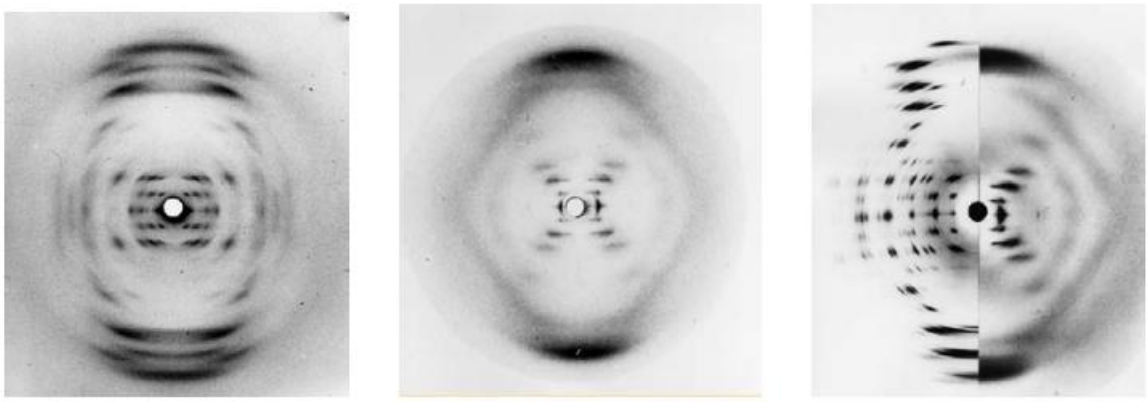
Es evidente que en ningún momento pensaron dejar de lado su trabajo de modelización de la molécula de la herencia. Por el contrario, comenzaron a analizar su modelo de tres hélices y a buscar la configuración perfecta moviendo diferentes átomos, pero siempre surgía algún inconveniente, por lo que parecía que debían comenzar de cero. El otro problema que aparecía, era que ya no podían acceder a la información empírica obtenida por Wilkins y Franklin, puesto quedarían en evidencia ante Bragg y, además, las relaciones interpersonales con ellos no eran las mejores, especialmente con Franklin. Sin embargo, continuaron explorando diversas posibilidades y adentrándose mucho más en los campos teóricos, cumpliendo a la vez con las tareas que les habían asignado.

Pasaron varios meses y muchas situaciones, que llevaron de nuevo a Watson, a establecer conversaciones con Wilkins, pero lo que los unió más en tono al trabajo

sobre el ADN, fue la percepción que compartían de Franklin, como una mujer impositiva y agresiva que no sabía escuchar argumentos, según lo describe Watson (1968):

> Mi encuentro con Rosy hizo que Maurice se mostrara más abierto de lo que le había visto nunca. Ahora que yo ya no necesitaba imaginarme nada para comprender el infierno emocional en el que vivía desde hacía dos años, podía tratarme casi como a un colaborador, en vez de un conocido con el que las confidencias podían producir inevitables malentendidos. Para mi asombro, reveló que, con la ayuda de su asistente, Wilson, se había dedicado a reproducir discretamente parte del trabajo de rayos X hecho por Rosy y Gosling. Por tanto, no hacía falta mucho tiempo para que las investigaciones de Maurice estuvieran a toda máquina. Y había otro asunto todavía más importante que salió a relucir después: desde mediados de verano, Rosy tenía pruebas que hablaban de una nueva forma tridimensional del ADN. Aparecía cuando las moléculas de ADN estaban rodeadas por una gran cantidad de agua. Cuando le pregunté qué forma tenía, Maurice fue a la sala de al lado para coger una copia impresa de la nueva forma, que denominaban estructura «B». En cuanto vi la foto quedé boquiabierto y se me aceleró el pulso. La forma era increíblemente más sencilla que las obtenidas anteriormente (forma «A»). Además, la cruz negra de imágenes que dominaba la fotografía sólo podía indicar una estructura helicoidal. Con la forma A, el argumento en favor de una hélice nunca estaba claro, y existía bastante ambigüedad sobre cuál era el tipo exacto de simetría helicoidal presente. En cambio, con la forma B, bastaba examinar sus fotografías de rayos X para distinguir varios parámetros helicoidales cruciales. Lo lógico era pensar que, con unos cuantos minutos de cálculos, sería posible fijar el número de cadenas existentes en la molécula (ilustración 4).

Ilustración 4. Fotografías de difracción de rayos-X de ADN-A y del ADN-B *Izquierda*: foto de ADN-A (75% humedad). *Centro*: foto de ADN-B (92% humedad). *Derecha*: comparación de ambos patrones. (Tomado de Piro, 2012).



Lo que prosiguió fue establecer la forma en la que se relacionaban cada una de las piezas, diseños, proporciones y distancias. Así, Watson y Crick pudieron entonces completar rápidamente su modelo, puesto que ya tenían la idea de la

doble hélice a partir de sus observaciones, pero no tenían datos empíricos con los cuales corroborarla. Fueron los primeros en admirar la elegancia con que la Naturaleza había diseñado la arquitectura molecular del código genético: una molécula de ADN que toma la forma de una doble hélice dextrógira que recuerda una escalera algo retorcida a lo largo de su extensión, en la que las barandas están hechas de grupos químicos fosfato y azúcar desoxirribosa ligados covalentemente entre sí y dispuestos de manera alternada para formar una estructura polimérica; y los peldaños están compuestos de un par de bases nitrogenadas (que se proyectan hacia el eje de la hélice desde sendos azúcares sobre hélices opuestas) enlazadas entre sí por puentes de hidrógeno (Piro, 2012).

No nos adentraremos en las discusiones en torno a la forma en la que Watson y Crick obtuvieron la fotografía que les permitió develar la estructura del ADN, pero si en resaltar que fue su obstinación, constancia y capacidad de indagar mas allá de lo visible, lo que les permitió comprender y entretejer todos los datos que tenían frente a sí, información en la que jugó un preponderante papel Franklin, y a quien Watson (1968) reconoce su gran valor:

> En 1958, Rosalind Franklin murió a la temprana edad de 37 años. Dado que mis primeras impresiones sobre ella, tanto en lo científico como en lo personal (y que están reflejadas en las páginas iniciales de este libro), estaban con frecuencia equivocadas, deseo decir aquí alguna cosa sobre sus realizaciones. El trabajo de rayos X que llevó a cabo en King's College está considerado, cada vez por más personas, como extraordinario. La mera separación de las formas A y B, por sí sola, le habría dado una gran reputación; mejor todavía fue su demostración en 1952, utilizando los métodos de superposición de Patterson, de que los grupos fosfatos tenían que estar en el exterior de la molécula de ADN. Posteriormente, cuando se trasladó al laboratorio de Bernal, se ocupó del virus del mosaico del tabaco y expandió enseguida nuestras ideas cualitativas sobre la estructura helicoidal para convertirlas en una imagen cuantitativa exacta, con lo que determinó de forma definitiva los parámetros helicoidales esenciales y situó la cadena ribonucleica a mitad de camino hacia el exterior del eje central. Dado que, en esa época, yo enseñaba en Estados Unidos, no la vi con tanta frecuencia como Francis, a quien ella acudía muchas veces en busca de consejo o cuando había hecho algo muy prometedor, para asegurarse de que él coincidía con su razonamiento. Para entonces, todos los restos de nuestras disputas estaban ya olvidados, y tanto Francis como yo aprendimos a valorar enormemente su honradez y generosidad personal y a comprender, con demasiados años de retraso, las luchas a las que una mujer inteligente se enfrenta para ser aceptada en un mundo científico que, muy a

> menudo, considera a las mujeres meras distracciones del pensamiento serio. El valor y la integridad ejemplares de Rosalind quedaron claros para todos cuando, pese a saber que estaba mortalmente enferma, no sólo no se quejó sino que siguió haciendo un trabajo de gran categoría hasta pocas semanas antes de su muerte.

Como es evidente, hemos dedicado un espacio especial a los aspectos relacionados con el ADN, por cuanto en la actualidad se habla de él de una forma a priori y como un hecho casi trivial o una formula con la que se responde de forma ligera la respuesta ante cualquier pregunta que tenga que ver con la constitución y formación de un organismo. Sin embargo, su construcción conceptual requirió de las disputas de personas que lograron encontrar en el ADN la materialidad, a nivel molecular, de los códigos que rigen lo vivo y que se convertiría en el eje central de los estudios de la bióloga molecular en los decenios siguientes.

Esta disciplina durante todo el siglo XX, fue desarrollándose e incorporando conocimientos sobre conceptos básicos, procesos biológicos comunes a todos los seres vivos y relaciones entre la organización de las secuencias de nucleótidos en un genoma; de los trabajos de Mendel (1864) al Genoma Humano totalmente secuenciado (2003) median sólo 138 años, lo que se ha convertido en una revolución de conocimiento sin precedentes (Castañeda, Castañeda & Rodríguez, 2009) y en el desarrollo de tecnologías que llevarían a repensar a la humanidad sobre los alcances de la ciencia y de quienes la construyen y las empresas que la manipulan.

En este sentido el proyecto del genoma humano representa uno de los tres megaproyectos científicos del siglo XX, junto con el proyecto Manhattan (de carácter nuclear relacionado con la explosión de dos bombas nucleares en ciudades Japonesas al final de la segunda guerra mundial), el proyecto satelital de ingeniería astronáutica (que entre otras puso al hombre en la luna). El proyecto del genoma humano es la primera iniciativa internacional (de carácter estatal) que dedica un subproyecto sobre la problemática ética, legal y social asociada al

mismo: *Ethical, Legal, and Social Issues* (ELSI). En su desarrollo planteo serias disputas con las iniciativas privadas (Celera Genomics) por el tema de las patentes, tema que hoy en día es aun más vigente.

Frente a este tipo de tecnologías Mainetti (2003) manifiesta que en el imaginario de la cultura occidental existe una serie de mitos originales o fundadores, como el del homúnculo, un hombrecito que los alquimistas querían formar en el alambique a partir del esperma, es decir, evitando la relación con la mujer y el hombre puede formar vida en el laboratorio. A partir de visiones como estas se pretenden capturar la esencia del hombre en medio de una mistificación de la genética que se solapa con el maniqueísmo genético, es decir la polaridad del bien y del mal. Esta dualidad se observa a diario en expresiones como pros y contras de la revolución biotecnológica que en últimas toca la mercantilización, comercialización o comodificación de la vida.

A partir del desciframiento del genoma humano se vislumbra lo que se ha llamado medicina genómica con tres tendencias: la medicina predictiva, la medicina perfectiva y la medicina privativa. La medicina predictiva estaría en la capacidad de pronosticar enfermedades antes de su aparición o describir rasgos de conducta determinados genéticamente lo que condicionaría aspectos como la educación, el trabajo o la salud. De esta forma, los empleadores nos podrían imponer clausulas en los contratos a partir de la realización de perfiles genéticos. Este sería un ejemplo de la discriminación derivada de la medicina predictiva que toca la relación facultativo- paciente a causa de la confidencialidad de la información (Mainetti, 2003)

La medicina perfectiva no solamente propende por la curación de la enfermedad, restaurar la discapacidad o la insuficiencia (lo que es loable desde el punto de vista de los autores) sino que propone mejorar nuestras características físicas, intelectuales o morales. Es en este contexto donde se instauran las cirugías estéticas o la elaboración del bebe perfecto donde, como padres, seleccionamos

los rasgos que deseamos en nuestros hijos (como lo pretenderían los médicos eugenistas nazis). Y la medicina privativa que asume el cuerpo como un campo de exploración, como un objeto de utilidad terapéutica donde los tejidos y órganos son de interés o repuesto planteando el problema de la propiedad del cuerpo y sus partes y las patentes que se deriven de este tipo de tecnologías (Mainetti, 2003).

A partir estas tendencias en medicina genómica, Maineti (2003) identifica los siguientes problemas: brecha diagnóstico-tratamiento (medicina predictiva), pues, en la medida en que se profundiza la distancia entre el conocimiento y la intervención, se plantean mayores conflictos morales, por ejemplo, el diagnóstico embrionario preimplantatorio y el aborto provocado; determinismo genético, es decir, pensar que todo obedece causalmente a los genes, como otrora se responsabilizaba a los astros por el destino, desconociendo la imbricación de natura y cultura en la cuna del hombre; discriminación genética basada en la ciencia de la identidad y de la diferencia, genealogía de la conducta y estigmatización sexual, social, criminal y racial, que transforma el helicoide molecular en cadenas para la justicia y la libertad; reprogenética, la unión de medicina reproductiva e ingeniería genética, último avance de la revolución biológica de cuya primera ola fue reproductiva y la segunda genética, tiene una expresión bioética prototópica en la clonación humana; terapia génica, en la cual se distinguen dos modalidades, la somótica y la germinal; la primera modifica al individuo pero no a su descendencia, en tanto que la segunda se transmite como patrimonio de la especie, lo cual plantea ciertas objeciones morales sobre la propiedad de la vida y nuestro derecho a intervenir en ella; optimización o enhancement, se basa en el distingo entre enfermedad y rasgo, que ha servido también de fundamento normativo al paradigma médico tradicional: el arte de preservar y restaurar la salud, al que el concepto de enfermedad presta objetividad científica, operatividad técnica y justificación moral.

Pero si bien la medicina genómica ha generado un gran impacto en nuestra sociedad, la clonación humana reviste un especial interés en científicos y

estudiosos de la bioética. A pesar de que el núcleo de una célula de un donante es insertado en un ovulo anucleado, el embrión que se desarrolla del mismo, no es igual a la célula donante de la que se extrajo el núcleo ya que a nivel celular influyen otros factores como el ADN mitocondrial, complejos citoplasmáticos, proteicos, entre otros, presentes en el ovulo. Para lograr un clon debe producirse varios fetos que a la postre serán descartados en la medida en que se presentan diferentes anomalías durante su desarrollo, es decir, se estaría jugando con futuros organismos sólo con el fin de producir un bien de carácter biotecnológico. En relación con los clones humanos, existe un fuerte debate sobre la identidad del mismo, donde cabe señalar que el clon se desarrollará en virtud de las condiciones ambientales, sociales y culturales que claramente lo diferenciaría del donante. Pero ¿podrían en el futuro hacerse distinciones entre ciudadanos de primera y ciudadanos de segunda condenados a trabajos considerados peyorativos y condenados a múltiples problemas de salud como el cáncer, tomando para ello en cuenta su procedencia natural o del laboratorio?

Otro aspecto que genera muchos cuestionamientos éticos en la actualidad, es el tratamiento de embriones con fines reproductivos, puesto que para dar origen a un organismo por estos medios se requiere de varios embriones, de los cuales solo uno o unos pocos será implantado en el útero, los restantes permanecerán congelados hasta que, en un punto indeterminado, ya no serán “viables”. Muchos científicos reclaman el derecho de realizar estudios con embriones conservados en estas circunstancias, lo que torna álgido el debate porque en primera instancia, se plantean interrogantes sobre cuándo una estructura en desarrollo, como el embrión, puede ser considerada como humana y en qué circunstancias se estaría violando el derecho a la vida de un ciudadano en potencia. Por otro lado, el problema espiritual nunca podría ser resuelto y esto representa una condicionante ética de gran peso. Este es un debate casi imposible de resolver, al tratar de establecer si existe un ser humano (real o potencial) a ese nivel de desarrollo embrionario (Mainetti, 2003).

No podríamos dejar de lado el hecho de que la parte de la historia ignominiosa de la genética está ligada al eugenismo, que es considerado por muchos como una técnica que busca mejorar la sociedad humana según conocimientos científicos. Generalmente, se tiende a describirlo como eugenismo pasivo que, esencialmente, habla de la selección natural que aparece siempre en el momento de optar por rasgos genéticos útiles para la supervivencia de la especie. La mayoría de los animales de sangre caliente de ambos sexos buscan la "mejor" pareja, por lo que una forma muy liviana sería la elección de un cónyuge. Ese tipo de eugenismo no está controvertido, pero sí el "eugenismo activo", que es mucho más discutible. La clonación, la corrección de genes defectuosos, la eliminación de enfermedades genéticas y/o hereditarias, la elaboración de medicamentos "personalizados", la prevención de enfermedades altamente probables, la utilización de embriones y de células troncales, los transplantes de órganos, los xenotransplantes y hasta los transgénicos, son técnicas aptas para participar de manera eficiente en cualquier tipo de eugenismo. La cuestión consiste en saber si es realmente útil o necesario tratar de perfeccionar tanto la especie humana. Al tratar de responder a esto estamos nuevamente frente al concepto de "ciudad utópica" que se convierte en "utopía genética" con el deseo de llegar a perfeccionar a ultranza al ser humano, transformándolo en lo que podríamos llamar el *Homo geneticus* (Antoine, 2004).

Estas tecnologías no son ajenas en nuestras latitudes. Muchas personas pensarían que estas son idílicas y poco viables, debido al poco desarrollo científico con el que contamos en comparación con países europeos o con Estados Unidos. Sin embargo, de acuerdo con Lolas, Rodríguez, & Valdebenito (2004) a través de la revisión de literatura escrita en aspectos de investigación biomédica en genética en Argentina, Chile, México y Perú y identifican que un aspecto que ha generado gran impacto es el de la comercialización de las secuencias génicas por patentes que llevan a la explotación comercial de nuestros países y la poca participación de las comunidades indígenas en el estudio de su ADN, algunas veces sin un apropiado consentimiento informado, sin olvidar el

impacto de los organismos modificados genéticamente tanto en la salud como en la biodiversidad.

Todos estos retos demandan de nuestros gobernantes, comerciantes y ciudadanos en general la toma de decisiones desde una postura clara, argumentada y coherente, con un sistema de criterios y principios normativos que respeten el derecho a la vida digna y disminuya las brechas sociales que desde tiempos inmemoriales alimentan las injusticias. Además, estos nuevos conceptos y minucias de carácter técnico tienden a dividir la sociedad entre “los que saben” y “los que no saben”, “los nuevos cultos” y los “nuevos ignorantes”. El distanciamiento social se avizora en la aldea global con la posibilidad de generar nuevas castas de individuos (los gobernantes y los gobernados, los poseedores y los desprovistos, los privilegiados y los ignorados) dentro de un sistema que va mucho más allá del simple uso de nuevas técnicas y tecnologías y que está bajo el gran control de los mercados y de sus iniciados (Antoine, 2004).

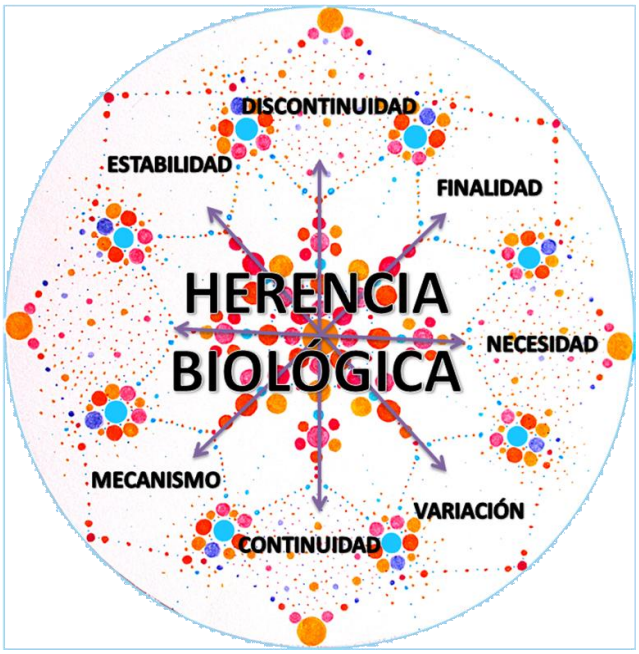
3. LA TRAMA

El encanto de la belleza estriba en su misterio;
si deshacemos la trama sutil que enlaza sus elementos
se evapora toda la esencia.
Johann Friedrich

La urdimbre ha sido sujetada al telar, ahora los hilos de la trama se han de entrecruzar con la urdimbre, emergiendo nuestras construcciones sobre la herencia biológica. Cada hilo se presenta como una dupla que, en algunos casos, lleva en tensión varios siglos y donde prodigiosas mentes han aportado argumentos a favor o en contra de uno de los dos miembros. En las siguientes líneas solo quedan esbozados algunos elementos de dicha relación, puesto que sin ellos, una descripción de los fundamentos teóricos y experimentales que permitieron el establecimiento de la herencia como un problema de estudio para la biología, evaporaría su esencia.

De esta forma, el problema de la herencia se bosqueja desde el siglo XVI, en la medida en que van cambiando los objetos de estudio y emergiendo conceptos en lo que llegaría a denominarse Biología y que fue descrito en el capitulo anterior. Las diadas a primera vista parecen contradictorias debido a las tensiones que surgen entre ellas, pero en el estudio de la herencia encuentran un punto intermedio. Estas tensiones son: continuidad frente a discontinuidad; finalidad frente a mecanismo; la necesidad frente a contingencia; estabilidad frente a la variación (Jacob, 1999) (ilustración 5). A continuación se describirá cada una de ellas.

Ilustración 5. Elementos desde los cuales se bosqueja el problema de la herencia y que se encuentran en constante tensión, por lo menos hasta la segunda mitad del siglo XIX. (Elaborada por los autores a partir del análisis de *La lógica de lo viviente* de François Jacob).



3.1. CONTINUIDAD FRENTE A DISCONTINUIDAD

El primer elemento está en relación con la continuidad de los organismos y cómo ésta, a través del tiempo, ha mutado desde las ideas que afirmaban la existencia de una larga cadena del ser, hasta lo que en algún momento constituyó la especie, y en donde cada forma, desde la más simple roca hasta el mismo creador, se constituye en un eslabón. En este sentido, Jacob (1999) indica que hasta finales del siglo XVIII no existe una frontera claramente definida entre los seres vivos y las cosas, de aquí que lo vivo se prolonga en lo inanimado sin solución de continuidad; todo es continuo en el mundo, por ende, no existe aún una división fundamental entre vivo y no vivo. Todo se constituye en una prolongación de una identidad de orden superior, lo que confiere un estatus a cada uno de los componentes. Las fronteras son indisolubles; cada objeto, cada animal, cada

planta posee un lugar en esta escala de acuerdo a un atributo, que en primera instancia se debía a su grado de perfección[38].

Esto demarca la organización de la naturaleza en un continuo, donde las jerarquías tienen una connotación que va de un orden descendente de lo divino a lo humano, de lo humano a lo inanimado. De tal suerte que todo se presenta en la naturaleza como continuo y, más que categorías, lo que en ella se encuentra es una jerarquía (Jacob, 1999). En este sentido, la exploración de los seres vivos trata de establecer relaciones a partir de las semejanzas que existen entre los individuos, de tal suerte que se construye una intrincada red de semejanzas. Sin embargo, este juego de semejanzas oscurece los retratos y tapa las diferencias (Jacob, 1999).

Como ya se mencionó, antes del siglo XIX se asumía que el acto por el cual un nuevo individuo se forma, es un acto divino mediado por fuerzas externas que juzgan y dictan el plan a seguir por el nuevo ser. Estas fuerzas externas determinan el destino del nuevo individuo y sus intenciones se describen a través de los signos visibles que marcan su propósito. Las formas de la naturaleza y los seres vivientes se explican en términos de las similitudes y signos[39] que marcan su destino. Este sería el primer elemento que describe la tensión.

Con el advenimiento de la reproducción, la red de similitudes acaba por desdoblarse. Por un lado, la reproducción de la forma y del carácter está asegurada por el parecido que entraña la herencia. Por otro, y por medio de las sensaciones percibidas por los padres o bajo el efecto de su imaginación, el

[38] A juicio de Jacob (1999), algunos elementos que demarcan esta tensión en el siglo XVI y XVII, se caracterizan por admitir que un ser vivo no puede reducirse a su única estructura visible, sino que es un eslabón de la cadena secreta que une todos los objetos de este mundo; cada animal y cada planta se convierten en una especie de cuerpo proteiforme que se prolonga no solamente en los otros seres, sino también en las piedras, en las estrellas e incluso en las actividades humanas.

[39] Foucault (1968) ha denominado este forma de explicar el mundo como episteme de la semejanza y será descrita y analizada más adelante en las consideraciones finales.

producto de la generación queda expuesto a las influencias del mundo exterior, que puede dejar en el niño la marca de todas las analogías posibles (Jacob, 1999).

Esta sería la base de la explicación que da cuenta del origen y la formación de un individuo, un acto aislado, generador de vida que sería integrado a la cadena que constituye el continuo flujo de seres, donde cada castigo significa el retroceso en un eslabón. Pero es en el siglo XIX donde no sólo no existe una frontera bien definida entre los seres vivos y las cosas, sino que el mundo vivo forma una trama ininterrumpida; todo es progresivo, gradual (Jacob, 1999).

En este sentido la especie se constituye en el segundo elemento que da cuenta de la continuidad de los organismos; es en ella en la que se fundamenta la transición de considerar la cadena del ser aterrizada en los animales y las plantas. Sin embargo, si bien se pueden ordenar los seres en categorías, la naturaleza no conoce clases (Jacob, 1999). Esto implica que todos los esfuerzos por organizar los individuos en grupos a partir de parámetros, son en realidad artificios que están muy distantes de representar una asociación que concuerde con el funcionamiento de la naturaleza, por lo que el conocimiento de estos seres queda restringido al conocimiento humano. La naturaleza guarda sus secretos y estos a su vez serían inexpugnables.

Una dificultad para ordenar el mundo viviente estriba en que, como dice Buffon, en la naturaleza no existen más que individuos, y los géneros, los órdenes y las clases sólo existen en nuestra imaginación (Jacob, 1999). Es en el concepto de especie en el que se fundamenta la observación de plantas y animales en el siglo XVII y que de una u otra forma refuerza la idea de entidades de orden superior e inferior, así como la permanencia de las formas desde el origen de los tiempos. En este marco el concepto de especie, constituye, al fin y a la postre, la base de la historia natural de este siglo (Jacob, 1999).

Esta idea da cuenta de la agrupación artificial que realiza el hombre. La continuidad de las formas vivientes en la especie y en el tiempo exige la continuidad de esas formas a través de los procesos mismos de la generación (Jacob, 1999). Así, la permanencia de una especie se fundamenta en la generación. Aunque si bien el concepto de especie ha eliminado cualquier posibilidad de niños con cara de perro o corderos con cola de pescado, el mundo viviente es continuo, lo que implica que es sobre la filiación en donde debe fundamentarse la noción de especie (Jacob, 1999).

De acuerdo con Jacob (1999), en el siglo XVIII cada cuerpo vivo, tanto si surge de una semilla como de un feto, formó parte en otro tiempo de un cuerpo semejante, lo que implica que antes de adquirir su autonomía, antes de llegar a ser a su vez la sede de una vida independiente, todo organismo ha participado de la vida de otro ser del que luego se ha desprendido, trasmitiéndose la vida de ser en ser por una sucesión ininterrumpida; la vida es continua. En este punto la continuidad ha cambiado de sentido, puesto que el escenario en el que se plantea el origen de un individuo ya no es por la generación, sino que se ha reunido suficiente evidencia experimental para deslindarla de las fronteras de lo esotérico, asociándola con estructuras visibles como el polen, el esperma, los óvulos y de esta forma se convierte en un proceso material. En el campo de la fisiología se observa un interés por estudiar las principales funciones que darían cuenta de la continuidad más allá de las estructuras, dando un paso adelante y situándola en las funciones comunes a todo ser vivo.

De esta manera, lo que interesa observar, detrás de la diversidad de las formas, es la continuidad de las funciones (Jacob, 1999). Así, la anatomía comparada realiza aportes en este sentido; se realizan estudios de morfología con el fin de determinar no solo la forma sino también la función de cada uno de los componentes de los individuos, describiendo sus interconexiones y las que se

pueden establecer con individuos de otras especies[40]. Es por medio de las funciones que se distribuyen las analogías a través del mundo viviente (Jacob, 1999).

En el siglo XVIII, con la incursión de la variable del tiempo desde la tradición integrista, la continuidad muta de tal forma que, desde la aparición del primer organismo, lo viviente solo puede nacer de lo viviente: el hecho de que la Tierra este hoy poblada por organismos muy diversos se explica por las reproducciones sucesivas (Jacob, 1999). Los organismos están ligados por un mismo origen, las variaciones que exhiben como individuos pronto serán analizados en el marco de conjuntos: las poblaciones. El marco desde el cual se explica el surgimiento y la extinción de las especies ha cambiado todo fin, todo propósito; todo tinte teleológico termina por disolverse; la contingencia plagada de sucesos azarosos liberará al pensamiento biológico del peso del designio, el castigo y el pecado. Jacob (1999) realiza la siguiente claridad que permitirá entender el surgimiento de la herencia biológica:

> Si ciertos tipos de organización se asemejan, esto ya no sucede en virtud de una pretendida armonía preestablecida más allá del conocimiento humano, sino debido al hecho de que han atravesado una o más etapas comunes en el proceso de transformación. Para clasificar los seres naturales ya no basta, por lo tanto, con reconocer las similitudes en el espacio; es necesario establecer cuál ha sido la sucesión en el tiempo. El contenido empírico de una determinada área de la realidad no se puede develar de golpe, ni prever en función de alguna idea preconcebida.

Con la reproducción como un proceso de carácter biológico y con la incursión del tiempo y las ideas evolucionistas, cambia la concepción de continuidad. Según Jacob (1999) en la visión darwiniana, la continuidad de los seres se sustituye por el crecimiento lento, constante e inexorable del árbol genealógico.

[40] Es Cuvier quien viene a romper precisamente esa continuidad. El plan de organización se convierte en el eje donde, en cierta forma, se articulan dos series de variables, una exterior y otra interior a los cuerpos vivos […] la continuidad no se sitúa ya en las formas, en las estructuras, sino en las funciones que deben coordinarse para responder a las condiciones de existencia (Jacob, 1999).

En la tradición tomista o reduccionista, la continuidad en relación con la emergencia de la teoría celular ya no descansa en la unidad que exhiben los órganos o las funciones. Ahora descansará en la unidad que recibe todas las propiedades de lo vivo, la célula. El nexo une a los organismos de una misma generación, el vínculo material unirá a los que lo anteceden y lo sucederán. Jacob (1999) al respecto afirma:

> La continuidad de las formas y de las propiedades que se observan a través de las generaciones, no se aplica únicamente a los animales y vegetales, sino también a las unidades que los constituyen. La teoría celular adquiere su forma definitiva, que se resume en la frase de Virchow: "Todo animal se presenta como la suma de cierto número de unidades vitales, cada una de las cuales lleva en sí todos los caracteres de la vida" […] A través del análisis del desarrollo embrionario en las más variadas especies, la embriología reencuentra en el mundo vivo la discontinuidad puesta ya de manifiesto en la anatomía comparada […] La continuidad de lo viviente ya no es horizontal en el conjunto de los seres, sino vertical en la serie de generaciones, unidas por la reproducción.

En la segunda mitad del siglo XIX, con la introducción de las poblaciones en el análisis de lo viviente, así como de la contingencia como regente de los eventos relacionados con lo vivo, se abrirá paso a una nueva metodología fundamentada en la probabilidad y el análisis de las poblaciones, que da paso de la continuidad a la discontinuidad. Esto implica discretizar algunos rasgos de lo viviente para, a partir de ellos, empezar a establecer regularidades formales y dotadas de una lógica interna. Esta lógica adquiere con Mendel una forma que explicaría la transmisión de caracteres de padres a hijos. En el análisis estadístico descansa la distribución de elementos discretos. La discontinuidad, tanto la natural (como en las poblaciones de unidades) como la introducida por los métodos de medición que imponen siempre la elección entre dos valores límites, constituye una condición necesaria para este tipo de análisis (Jacob, 1999). Mendel reconoce, a través de sus escritos, que debe existir un lenguaje sin ambigüedades, por tal motivo en la primera parte aclara las comprensiones y usos que se derivan de la palabra especie e híbrido. Producto de su conocida tradición de híbridador en el campo de la horticultura, es capaz de reconocer rasgos característicos en un modelo de estudio pertinente, para lo cual seleccionó una planta con una marcada

tendencia a reproducirse sexualmente en ciclo cortos (de pocos meses), eligió las variedades pertinentes y aplicó el pensamiento aleatorio para describir la aparición u observación de ciertos rasgos en distintas generaciones, lo que sin duda representa una formalización de las relaciones verticales (en el tiempo) entre individuos y cómo estas se distribuyen en las poblaciones. Con Mendel se observa por vez primera la discretización[41] de lo viviente, la posibilidad de observar regularidades e irregularidades en los organismos donde se establecen límites entre individuos y sus poblaciones; límites que determinarán la composición y estructura de la población. Este debate entre continuidad y discontinuidad se reservará para el siglo XX.

3.2. FINALIDAD FRENTE A MECANISMO

Durante siglos, la idea de un creador que trazó un propósito para cada objeto, planta, animal y ser humano al inicio de los tiempos había dominado la forma de ver e interpretar el mundo. Conocer, en este sentido, se convierte en descifrar el designio, el trazo o el apartado en el libro de la vida. Se estableció una exegesis en la que todo era explicado según el fin que se ha trazado. Esta idea fuertemente arraigada en la mente de las personas inicia a debatirse en el siglo XVIII con el desarrollo de la noción de organización en la que se advierte que ésta no puede concebirse sin un fin que la identifique con la vida; un fin que ya no viene impuesto desde fuera, sino que encuentra su origen en el interior mismo de la organización, por lo que no es posible disociar la estructura de su significación; las partes deben reproducirse recíprocamente, porque deben unirse entre sí para formar un todo (Jacob, 1999). De ahora en adelante la finalidad de un organismo será en aras de la reproducción, no solamente del individuo en su totalidad, sino también de sus constituyentes.

[41] En este contexto lo discreto cobra dos sentidos. En el primero hace referencia al proceder matemático en tanto que se recurre a formalismos que permiten establecer series como 1, 2, 3, 4, 5, etc., en donde cada número representa una entidad. El segundo sentido, vincula dichas representaciones y formalismos matemáticos para describir entidades que son empíricamente verificables: color, tamaño, forma, disposición, entre otras de tal forma que dan cuenta de un carácter.

De acuerdo con Jacob (1999), a finales del siglo XVIII, los gusanos, las moscas o las anguilas nacen de los gusanos, de las moscas o de las anguilas, de esta forma, donde surge un ser vivo, hubo antes uno para engendrarlo. Cuando en el escenario surge la reproducción, el fin de todo organismo cambia, ahora este fin vendría a dotarse de un mecanismo y una estructura localizable dentro de los individuos. Es en la reproducción de los organismos que descansa uno de los pilares teóricos y experimentales que permiten comprender los mecanismos de la herencia. Un ser vivo está dispuesto con vistas a la reproducción, sin embargo, esto que constituye su misma existencia también denota su fin, el cual ya no está en el terreno supraterrenal, sino que ahora depende de la garantía de encontrar un descendiente capaz de perpetuar las regularidades de la especie.

Por su parte, la teoría evolucionista asesta el primer golpe letal a la teleología, como lo vendría a señalar Schleiden en el prólogo de su *Grundzüge* en 1861(citado por Albarracín, 1983):

> A través del claro y sencillo mundo del inglés Darwin, la teleología ha sido por fin completamente eliminada de la ciencia natural, y relegada al lenguaje edificante y poético al que pertenece. En su obra sobre el origen de las especies establece Darwin un principio, que denomina selección natural. Puede expresarse, en mi opinión, más clara y concretamente de este modo: en la naturaleza se originó todo lo que es capaz de originarse bajo las condiciones dadas, ya que todo lo demás perece después de una lucha más o menos larga con las condiciones no convenientes para su existencia. Después de esta clara formulación parece sencillamente absurdo hablar acerca de un perseguido y logrado designio de la naturaleza.

La teoría celular asesta el segundo golpe letal a aquellos que defienden los fines teleológicos de los organismos. Como lo señala Albarracín (1983) citando a Schwann en un escrito acerca de sus contribuciones a la ciencia:

> Los descubrimientos de M. Schwann cambiaron radicalmente esta manera de ver y ofrecieron los fundamentos de la fisiología moderna, que se apoya en el principio opuesto. Los fenómenos de la vida -dice él- no son producidos por una fuerza que actúa de acuerdo con una idea, fuerza que sería por consiguiente más o menos análoga al principio inmaterial y consciente del hombre, sino por fuerzas que actúan ciegamente y con necesidad, como las fuerzas físicas. Podría admitirse que las fuerzas formadoras de los organismos no actúan en la naturaleza inerte, porque las combinaciones de las moléculas que las desprenden no se encuentran en ella; pero

> no se deduciría todavía que era preciso distinguirlas esencialmente de las fuerzas físicas o químicas. La finalidad, continúa, incluso un alto grado de finalidad individual en cada organismo, es irrefutable; pero esta finalidad no proviene de que cada organismo sería producido por una fuerza individual que actúa de acuerdo con una idea; está determinada de igual modo que en la naturaleza inerte: hay que buscar su explicación en la creación de la materia con sus fuerzas ciegas, por un ser infinitamente inteligente. M. Schwann opone, pues, la explicación física a la explicación teleológica (explicación por finalidad). Ello implica una personificación de las fuerzas de la naturaleza, que marca siempre la infancia de las ciencias.

En última instancia, las fuerzas básicas del organismo estarían sujetas a las fuerzas físicas y químicas, donde el azar y la necesidad determinarán el rumbo de los eventos. Ahora la cuestión se centra en describir los mecanismos que les permiten a dichas fuerzas actuar, lo que impone la necesidad de escudriñar aún más en la profundidad del organismo hasta sus bases moleculares.

3.3. NECESIDAD FRENTE A LA CONTINGENCIA

Contribuir al debacle de una verdad una verdad intangible y eterna, tal vez sea uno de los logros más importantes de la ciencia (Jacob, 1999). Durante el siglo XVI, la generación y formación de un individuo se expresaba en términos de un acto de la creación con un fin específico. El plan estaba trazado a la suerte y los dados ya estaban marcados-trucados. La producción de un semejante por los cuerpos vivos no expresa una necesidad de la naturaleza; para explicar la formación de un ser es necesario, en cada caso, recurrir a la acción de Dios o sus delegados (Jacob, 1999).

Esta es la razón de la necesidad que está de la mano con la continuidad en el mundo vivo. La necesidad de valorar lo viviente en general, y el hombre en particular, se traduce en dos clases de antropomorfismo: la prolongación de la jerarquía hasta el infinito de una inteligencia soberana o, inversamente, la traslación al conjunto de las formas vivas de ciertas cualidades humanas (Jacob, 1999). Azar y necesidad son dos aspectos antagónicos del mundo objetivo que queremos entender. Entender se sustenta en el principio de causalidad, donde no hay

causa sin efectos, significado sin significante, ni interpretación fuera de un contexto. Cualquier función de una estructura orgánica depende tanto de las interacciones entre sus elementos constituyentes como de las interacciones que establece con otras estructuras de un nivel de complejidad parecido. Son estas funciones las que han llevado a dichas estructuras a niveles crecientes de complejidad durante su evolución.

Con la introducción del tiempo, en el siglo XVIII, como variable en el marco evolutivo, la contingencia toma un papel fundamental, puesto que no se vislumbra en la naturaleza ninguna intención de ningún tipo, ninguna acción concertada del medio sobre la herencia, capaz de orientar la variación en un sentido premeditado (Jacob, 1999). Sin embargo, como lo indica Jacob (1999), para que la necesidad llegará a cuestionarse, antes fue necesario que la anatomía comparada, la embriología y la historia trastocarán el espacio de lo viviente.

Posiblemente sea el mundo de los seres vivos donde se manifiesta con mayor nitidez la contingencia (Jacob, 1982), ese juego de probabilidades de lo que puede ocurrir, aunque no se tenga certeza alguna de que suceda. De esta forma, la finalidad de los objetos que constituyen el mundo reside en su necesidad, que a su vez no puede disociarse ya de la contingencia, lo que conlleva a que la historia deje de ser una cronología de hechos independientes para convertirse en el movimiento en virtud del cual el universo ha llegado a ser lo que es; un proceso de desarrollo, un paso de lo simple a lo complejo (Jacob, 1999). Y es específicamente el descubrimiento y estudio de los fósiles, el que trae como consecuencia el rechazo definitivo de la idea de necesidad en el mundo vivo, la idea de que exista una armonía que imponga un sistema de relaciones entre los seres[42]; la teoría de la evolución libera al mundo vivo de toda trascendencia, de todo factor que escape al conocimiento, al análisis y a la experimentación (Jacob, 1999).

[42] Los documentos paleontológicos, la distribución geográfica de las especies, el desarrollo de los embriones, el fenómeno de la divergencia de los caracteres a partir de un antepasado común, la expansión de ciertos grupos y la desaparición de otros, todo sugiere la contingencia de los seres vivos y su formación (Jacob, 1999).

Con el desarrollo de la genética estos órdenes se concilian en el proyecto o plan que dirige hasta el último detalle de formación de un organismo (Jacob, 1999). Lo que Monod (1970) definirá como teleonomía:

> Noción que, sin embargo, se revela al análisis profundamente ambigua, ya que implica la idea subjetiva de, proyecto... más todo proyecto particular, sea cual sea, no tiene sentido sino como parte de un proyecto más general. Todas las adaptaciones funcionales de los seres vivos como también todos los artefactos configurados por ellos, cumplen proyectos particulares que es posible considerar como aspectos o fragmentos de un proyecto primitivo único, que es la conservación y la multiplicación de la especie. Para ser más precisos, escogeremos arbitrariamente definir el proyecto teleonómico esencial como consistente en la transmisión, de una generación a otra, del contenido de invariancia característico de la especie"

Si los hijos se parecen a los padres es porque existe una necesidad, en el contexto de las poblaciones, de mantener los caracteres que definen la especie. El fin de toda especie es conservar la información que la caracteriza, manteniendo cierto grado de variabilidad, que le permita subsanar las desviaciones que puedan aparecer en su material genético. La reproducción sería el mecanismo encargado de regular las relaciones entre progenitores y progenie, merced de los eventos azarosos que la rodean. A continuación, se tratará la dupla estabilidad y variación teniendo en cuenta estos conceptos.

3.4. ESTABILIDAD FRENTE A LA VARIACIÓN

Con el concepto de especie, que en su nacimiento era una categoría desde la cual se introduce un orden en el mundo viviente, basado en el análisis de las estructuras externas, se establece un punto de regularidad. En él, la representación y la abstracción de las características más relevantes permiten designar la posición de un ser vivo en la jerarquía de lo viviente. Dicha jerarquía sigue vinculada a la continuidad de lo vivo y al fin que el creador estableció en el principio de los tiempos. En este contexto las especies se consideran como invariantes.

En el seno de la botánica surge el primer sistema de nomenclatura propuesto por Karl von Lineo en 1753, en donde cada ser vivo posee un lugar en la especie, que sería la base de una jerarquía que se va reduciendo, en la medida en que se asciende hasta llegar al reino. La deficiencia de tal sistema radicaría en utilizar la similitud como la base desde la cual se determina la cercanía entre individuos así como la dificultad para definir los criterios con los que se agrupan los seres vivos en cada categoría (Atkins, 2009). Dicha dificultad es vigente en cada uno de los niveles de la jerarquía propuestos por Lineo.

La especie reúne individuos de la misma clase que estaría presente sobre la tierra desde la creación. Como se mencionó previamente, este concepto nace, a finales del siglo XVII, de la necesidad de los naturalistas por dar a sus clasificaciones un punto de apoyo basado en la realidad de la naturaleza; no se basa únicamente en una cierta semejanza, por muy grande que sea, entre individuos, sino que también en la sucesión de generaciones que producen siempre lo semejante, por lo que es preciso que la generación sea, en palabras de Buffon, continúa, perpetua e invariable (Jacob, 1999). De esta forma, la especie se convierte en una identidad desde la cual se explica la invariancia de los seres vivos[43]. Lo que a la postre forma parte de la unidad de la naturaleza.

Con la introducción de la reproducción se establece una regularidad. En la que se inicia a resquebrajar el esquema rígido de la especie y se empiezan a manifestar las variaciones en el marco, ya no de individuos, sino dentro de poblaciones. En una definición más contemporánea del concepto de especie biológica, se alude a un conjunto de organismos que se cruzan entre sí pero que está aislado de otros grupos a nivel reproductivo (Atkins, 2009).

[43] De acuerdo con Buffon, un individuo no es nada en el universo; cien individuos, mil, tampoco son nada. Las especies son los únicos seres de la naturaleza; seres eternos, tan antiguos, tan permanentes como ella; seres que se pueden considerar como un todo independiente del mundo, un todo que ha sido contado como uno entre las obras de la creación y que, por consiguiente, forma una unidad en la naturaleza (Jacob, 1999).

La incursión de la historia natural y del desarrollo del pensamiento poblacional en Darwin y sus antecesores, ponen de manifiesto que los organismos han atravesado cambios profundos de los que quedan rastros en el registro fósil. En este registro se observan diferentes formas en los organismos existentes y sus antecesores. El marco de observación desde el que se analizará a los organismos y sus variaciones cambiará de individuos, a poblaciones sujetas a eventos azarosos. En el pensamiento poblacional la selección natural, tal y como la concibió Darwin y Wallace, es un proceso sujeto a las leyes del azar, cuyo origen combina las observaciones sobre la variación del mundo biológico en la naturaleza al interior de las especies y la comparación con otras, basadas en una amplia gama de datos recolectados en viajes realizados alrededor del mundo. El pensamiento poblacional se nutre de los razonamientos inspirados en Malthus sobre las interacciones entre las acciones individuales y colectivas (particularmente en lo referente a la reproducción y al uso de los recursos) y la dinámica demográfica de las poblaciones. Así mismo, el conocimiento acumulado en la práctica de la selección artificial, apoyado por una amplia y acentuada tradición de hibridadores, plantea interacciones complejas y cambiantes, entre el genotipo y el fenotipo. Comprender la evolución de una característica cualquiera implicaría no solamente identificar el origen de una variante, sino también interpretar el proceso que llevó a su permanencia en el linaje (Lessa, 2009).

La herencia biológica reconcilia estas supuestas tensiones, utilizando el lenguaje informacional en términos de mensajes y códigos. La reproducción de un organismo ha atravesado el individuo, las células y ahora las moléculas que lo constituyen. Las estructuras de las macromoléculas están determinadas por las secuencias en las bases nitrogenadas presentes en el ADN. Ahora, lo que se transmite de generación en generación son las instrucciones para elaborar dichas moléculas y cómo desde éstas, al igual que en la embriogénesis, se puede llegar a desarrollar un organismo (Jacob, 1999). En estos términos el programa requiere una alta estabilidad para copiar y traducir el lenguaje de la herencia y la variación

descansa en los procesos reproductivos, a nivel sexual, en los que se privilegia la variación. Al respecto Jacob (1999) puntualiza:

> El programa genético, en efecto, está constituido por una combinatoria de elementos esencialmente invariantes. Por su estructura misma, el mensaje de la herencia no permite la menor intervención concertada del exterior. Ya sean químicos o mecánicos, todos los fenómenos que contribuyen a la variación de organismos o poblaciones se producen en total ignorancia de sus efectos. Sobrevienen sin conexión alguna con las necesidades del organismo para adaptarse. En una mutación hay causas que modifican un radical químico, rompen un cromosoma, invierten un segmento de ácido nucleico, pero en ningún caso puede haber ahí correlación entre causa y efecto. Esta contingencia no se limita solamente a las mutaciones, sino que se aplica a cada una de las etapas a través de las cuales se constituye el patrimonio genético de un individuo.

El exterior se comporta como un mecanismo de regulación sobre la expresión de la invariancia del programa genético. Monod (1970) afirma que:

> La invariancia reproductiva trata de la capacidad de reproducir una estructura de alto orden, y que el grado de orden de una estructura puede definirse en unidades de información, diremos que el contenido de invariancia de una especie dada es igual a la cantidad de información que, transmitida de una generación a otra, asegura la conservación de la norma estructural específica. Veremos que es posible, mediante ciertas hipótesis, a una estimación de esta magnitud.

Dicha estimación nos abría camino a las complejidades de la segunda mitad del siglo XX.

4. EL TAPIZ

La mente es como un tapiz rico en tejidos en los que los colores
se extraen de la experiencia de los sentidos, y el diseño tomados
de las circunvoluciones del intelecto.
Carson McCullers

Una vez constituido el telar, la urdimbre y la trama desde la cual podemos llegar a describir, o por lo menos bosquejar, la herencia como un campo de estudio biológico, se hace necesario ponerla en juego con el saber del estudiante y el de nosotros como maestros. Así, el taller de confección en el que se entrelazarán estos elementos que nos llevarán a construir el tapiz, es el aula.

Los interrogantes que surgen en la construcción del tapiz, que arropa estos dos saberes, se convierten en un arte, el arte sartorial, donde la confección artesanal del tejido que nos envuelve basa su belleza en la singularidad de quien gesta la obra. Singularidad expresada en la simetría de los trazos y el diseño de las formas que se plasmaran en el tapiz. En este capítulo, se presenta algunos trazos tratando de evocar cada una de las emergencias descritas en los capítulos anteriores: el Telar, la Urdimbre y la Trama.

Parte de nuestra singularidad está expresada en los artífices del saber que corresponden a los estudiantes, trece niños y veinticuatro niñas entre los doce y catorce años, habitantes del municipio de Suesca (Cundinamarca) e integrantes de la comunidad educativa de la Institución Educativa Departamental Gonzalo Jiménez de Quesada, quienes contribuyeron con sus construcciones en el desarrollo de esta propuesta. Los espacios en los cuales se constituyó el tejido del tapiz corresponden a cuatro clases los días sábados, con una intensidad de cinco horas, y en algunos espacios de clase dentro de la jornada académica asistiendo

en la mayoría de casos por motivación personal. Esta propuesta se desarrolló en el segundo semestre del año 2015.

Lo que constituye el centro de este capítulo es la descripción de la propuesta de aula, enfocada en la perspectiva de los problemas de conocimiento, así como algunos de los interrogantes que surgen al desarrollar las distintas actividades y una mención sucinta de los aspectos más relevantes expresados desde los saberes de los estudiantes. En este último punto, nuestro interés por el papel de dichas representaciones en la construcción de conocimiento, como lo indica Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez (2003), no se centra en determinar si dichas representaciones son o no verdaderas o si se corresponden con un modo de representar dominante, sino en mostrar que es posible transformar las formas de relación que se establecen entre los sujetos y entre ellos y los saberes que circulan en la escuela, haciendo posible la coexistencia de múltiples formas de representar.

En este sentido, el primer trazo que propusimos consistía en abordar las cuestiones derivadas de la aplicación de técnicas recientes de manipulación del material genético, pero tras la aplicación de algunas actividades previas, nos percatamos que existían cuestiones de base que deberían ser abordadas como ¿cuál es el papel que se le asigna a la reproducción dentro de las explicaciones de la dinámica viviente? ¿qué rol se asigna a la célula como unidad constitutiva de los seres vivos, en las explicaciones sobre la herencia? ¿qué papel juegan las regularidades a la hora de agrupar organismos? ¿cuáles son los elementos teóricos y experimentales que permiten erigir la herencia para explicar las regularidades y variaciones entre los organismos? ¿qué elementos se manifiestan en las respuestas a estas preguntas? Estos interrogantes pronto cambiarían el rumbo de nuestro trabajo, impulsándonos a plantear tres trazos nuevos, fundamentados en la construcción teórica, epistémica, disciplinar y experimental que realizamos, los cuales denominamos fases y que se describieron de forma

general en el telar: 1). Del todo a la parte y de la parte al todo; 2). Uno más uno son tres; y 3) ¿Por qué los hijos se parecen a los padres? (anexo 2).

En la primera fase, bosquejamos las tensiones derivadas del estudio de la célula y cómo se cuestionó, por lo menos en las primeras teorías celulares, el estatus de ésta en el organismo. En la segunda, pusimos de manifiesto las cuestiones derivadas de la reproducción y la variación en el contexto de las especies. Y en la tercera, hicimos hincapié en las condiciones que permitieron constituir a la herencia como un campo de estudio biológico. A continuación, procederemos a exponer con más profundidad cada una de ellas y finalizaremos con el análisis de las epistemes que consideramos subyacen en las explicaciones de nuestro estudiantes al abordar las diferentes actividades.

4.1. FASE 1. DEL TODO A LA PARTE Y DE LA PARTE AL TODO

El ejercicio de profundización teórica y la discusión crítica de los elementos que permiten la construcción de explicaciones a la pregunta ¿por qué los hijos se parecen a los padres? nos permitió evidenciar el papel central que juegan los principios teóricos y experimentales que están a la base de la Teoría Celular, pues partimos de la idea que no es posible construir explicaciones situadas en el campo de la genética si no se tienen claros los planteamientos frente a la célula, como unidad constitutiva de los seres vivos. De ahí que nos resultó relevante, dedicar una de las fases a situar a los estudiantes en el campo de problemas que hacen necesario pensar la célula como respuesta al origen, estructura y función de los seres vivos La óptica desde la cual se aborda el cuestionamiento, se enmarca en la tradición tomista–reduccionista.

Como mencionamos con anterioridad, el trabajo de botánicos, histólogos y fisiólogos, sus observaciones a través del microscopio y las técnicas para tratar tejidos, permitieron la constitución de una teoría celular que está en capacidad de situar en una estructura, las cualidades que exhibe lo vivo. Esta estructura pronto

se convertiría en la unidad que liga a todos los organismos a un mismo origen y en la cual se sitúan las bases materiales de la herencia, en el marco de los procesos reproductivos. Para abordar el ¿por qué los hijos se parecen a los padres? desde la perspectiva descrita, se diseñaron dos guías: a). Del germen a la célula, y b) Lo vivo a través del lente.

En la primera guía se pretende hacer un recorrido histórico que permite comprender que la célula es un concepto que se ha construido a través de numerosas observaciones y abstracciones, organizadas en un cuerpo conceptual denominado teoría celular. En la segunda guía, lo vivo a través del lente, se retoman algunas consideraciones acerca de la indagación y la capacidad de irrumpir en la profundidad de los organismos, a través de la observación de muestras al microscopio.

4.1.1. Guía 1. Del germen a la célula

¿Cómo están organizados los seres vivos? ¿cuáles son las regularidades que se pueden encontrar en ellos? ¿cuál es la relación que existe entre el mundo animal y el mundo vegetal? Estos y otros cuestionamientos han sido abordados desde la teoría celular. Esta guía propone reconocer en primera instancia, el conocimiento que poseen los estudiantes sobre los seres vivos, en especial sobre la célula y la historia que enmarca el surgimiento de éste concepto. En la actividad inicial se reconoce la gran variedad de organismos, que se caracterizan por adaptarse a los hábitats en los cuales viven. Tal variedad se expresa, en primera instancia, en tamaños, formas, colores, entre otros, muy particulares. Por este motivo solicitamos a los estudiantes dibujar, nombrar y describir el ser vivo más pequeño y más grande en relación con el *Homo sapiens*[44].

[44] Aunque el eje de la actividad parte de información referida al ser humano, sería un factor a considerar o contrastar la descripción de una planta.

Los estudiantes describen en la totalidad de los casos animales, las alusiones a plantas o protozoos son casi inexistentes. Elefantes, ballenas, jirafas, son señalados como los organismos más grandes. Las descripciones se centran en aspectos como la forma, colores, las regiones geográficas en las que se encuentran y, en contados casos, hacen comparaciones entre el tamaño de los organismos y objetos conocidos en la cotidianidad. En estos organismos reconocen la presencia de sistemas, órganos y tejidos. Pero a nivel celular solamente aluden a la presencia de células cardíacas o células neuronales.

Los organismos más pequeños a los que la mayoría de los estudiantes hacen mención, son generalmente parásitos como el piojo y la pulga. En ellos destacan que son hematófagos y con colores oscuros, pero no hay una descripción de sus formas y no se diferencia si ellos presentan sistemas, órganos, tejidos o células. Especial atención reviste las menciones a los microbios, las bacterias y las células como los organismos más pequeños, resaltando la dificultad de observarlos a simple vista y haciendo énfasis en la necesidad de utilizar instrumentos como el microscopio para observar organismos a una menor escala. Sobre la célula, llama la atención las siguientes afirmaciones: la célula *"es el organismo más pequeño de un cuerpo, o el de un ser vivo" "una célula es un organismo muy pequeño la cual consta de unas partes y contiene un núcleo"*. *"La célula es el órgano más pequeño en el cual están los seres vivos".* Al indagar por el uso que le dan a términos como "organismo", "órgano" y "organelo", se observa una confusión entre cada uno de ellos siendo utilizados para hablar de una estructura de menor tamaño y presente en el interior del cuerpo.

En cada una de las descripciones se devela un uso indiferenciado de palabras sin que haya una comprensión del contexto en que cada una cobra sentido. Esto expresa una apropiación de información sin conexión entre la misma y sin que responda a situaciones donde el estudiante tenga que hilar y poner lo que comprende en función de sus explicaciones. Es así como resulta cotidiano encontrar que los niños pregunten si el agua tiene células, o si en las células hay

átomos. De esta forma, los niveles de complejidad que van hacia el interior del organismo se solapan, de tal suerte que no se puede hablar de la interacción entre estos.

Es clara la poca apropiación que tienen la mayoría de los estudiantes sobre la teoría celular, a pesar que dentro del plan de estudios aparecen aspectos referentes a la célula desde los grados de primaria y que se profundizan en grado sexto, los que no les permite hacer construcciones frente a los problemas que se les plantean. Este problema de las dimensiones y escalas de las estructuras que conforma lo vivo, nos llevó a incluirlo como un factor a considerar en la segunda guía "Lo vivo a través del lente".

La siguiente actividad incluye la observación del video "La célula: el reino oculto"[45], acompañada de comentarios y espacios para su orientación. En este marco se plantearon las siguientes preguntas: ¿Por qué se afirma que el microscopio de Leeuwenhoek transformó nuestra forma de ver el mundo? ¿por qué el descubrimiento de los animáculos por Leeuwenhoek revolucionó la ciencia? Algunos de los elementos en la discusión sitúan a los niños frente a una ciencia que termina siendo muy reciente, y que en cerca de 200 años ha modificado la forma en que explicamos el mundo. También aporta a una imagen de la ciencia como construcción histórica, una ciencia que deja de ser información y que ha sido dinámica, donde la controversia y la discusión de ideas juegan un papel importante.

Cabe resaltar que la discusión en esta actividad se centró en que no sólo basta la creación o el desarrollo de un instrumento, sino que debe formularse un marco conceptual desde el cual explicar las nuevas observaciones. Este énfasis nos

[45] La célula (The cell) es una miniserie documental de la BBC, que presenta en tres episodios (El reino oculto, la química de la vida, la chispa de la vida), un recorrido por el desarrollo de la teoría celular, desde el siglo XVII al siglo XXI. Resalta los conflictos, controversias y técnicas fueron necesarias para su construcción y las implicaciones de la misma.

permite discutir con los estudiantes, el papel que tiene el conocimiento y la ciencia en la forma como nos relacionamos con el mundo, pues para ellos, a partir del fragmento del documental, es claro que el mundo de lo micro revela un universo desconocido hasta entonces, y que este nuevo mundo va a modificar la forma como pensamos y lo que decimos de lo que observamos. En este sentido, estaríamos asistiendo a una modificación de la episteme desde la cual se describe el mundo. La discusión sobre el proceso de cambio de mentalidad asigna diferentes papeles al "ver", la "demostración", al "proceso", "el cambio de actitud del que observa", el "descubrir", la "imaginación" o la "inventiva". De esta forma, la observación a través del microscopio centra su atención en la explicación de lo que se observa y cómo esta modifica la forma en que se explica lo vivo sirviendo como preámbulo para la siguiente guía.

4.1.2. Guía 2. Lo vivo a través del lente

En esta guía planteamos actividades que tratan de ilustrar el nivel de complejidad y la profundidad con la que se aborda el estudio de la célula y su estatus dentro del organismo. Recurriendo a las observaciones de Leeuwenhoek descritas y discutidas en la presentación del video de la guía anterior. Se planteó la observación de los organismos en escalas más pequeñas y la forma en que el microscópico surge como instrumento capaz de agudizar, no solo la visión, sino las construcciones frente a la organización de los mismos. De tal forma que la lente, la descripción y la interpretación consolidarán nuestra visión del microcosmos. La guía contempla dos cuestiones: ¿Cómo ver a través del lente? y recorriendo el camino de Leeuwenhoek.

La primera cuestión se aborda a través de la presentación de un video "La escala de 10" donde se observan en diferentes escalas los constituyentes del universo, realizando un zoom que lleva la mirada desde objetos a escala humana hasta el universo y retornando hasta los átomos. Posteriormente, explicamos a los estudiantes cada una de las escalas, para luego solicitarles que realicen el dibujo

de un lápiz en tamaño real, con un aumento de 2X y a 4X. Esta actividad hizo evidente la confusión de los estudiantes para diferenciar la superficie y el volumen de un objeto, lo que promovió una discusión sobre las imágenes en dos dimensiones (planas) y en tres dimensiones o en profundidad. Resaltamos el hecho de que las imágenes que se obtienen con el microscopio óptico son planas o en dos dimensiones, lo que genera una serie de dificultades de carácter óptico como efecto de la manipulación de la luz por medio de lentes y espejos, así como del tamaño de las muestras y la facilidad para detectar o diferenciar estructuras, de tal suerte que se hace necesario desarrollar técnicas que solventen estos dos problemas.

En la siguiente actividad se presenta un dibujo de una pulga, señalada por algunos estudiantes como el ser vivo más pequeño que conocían, en tamaño normal, aumentado a 4X y a 10X, con el propósito de establecer un punto de referencia y una base desde la cual se puede explicar la forma en que aumentan las dimensiones de una estructura al ser observadas a través del microscopio. Por último, se propuso al estudiante ampliar un dibujo de un escarabajo a 2X, tomando como referente una cuadricula. En las imágenes, se puede observar cómo los estudiantes, en la mayoría de los casos, intentan ampliar el dibujo, aunque se denota la dificultad que representa poner en juego ciertas habilidades espaciales y nociones geométricas que son claves para el uso del microscopio. En actividades como estas, evidenciamos que el estudiante se ve compelido a poner en juego ciertos aprendizajes que no son solo del consorte de las ciencias naturales, sino también de carácter estético, matemático y simbólico.

En la segunda cuestión, “recorriendo el camino de Leeuwenhoek” proponemos realizar algunas de las observaciones que Leeuwenhoek llevo a cabo a través de su microscopio, como se evidenció en el video. Así, partimos por analizar una gota de agua de charco o de agua estancada, de “lama verde” adherida en las paredes de los tanques de agua o en algunos charcos, del interior del carrillo de la mejilla y de una gota de sangre (teniendo en cuenta las precauciones y normas de

bioseguridad pertinentes), en los diferentes aumentos, plasmando en la guía los dibujos de lo que ellos veían a través del lente y la descripción de los mismos. Por último, les solicitamos establecer relaciones (similitudes y diferencias) entre las observaciones y algunas microfotografías.

En los gráficos se observa cómo en algunos casos, se dibujan manchones coloreados en el marco de un círculo que emula el campo óptico. Sin embargo, con el transcurso de las observaciones, van apareciendo figuras geométricas diferenciadas, agrupaciones de formas y el señalamiento de los movimientos que, en algunos casos, estas siguen. Así, pasan de ser manchones a tomar la forma de paramecios, algas, células epiteliales y glóbulos rojos, de acuerdo con las descripciones, lo que lleva a explicaciones que permitan asumir la célula como unidad estructural de los organismos, aunque la interacción que hay entre ellas es un tema que aún no se vislumbra en el panorama.

Si bien el propósito de estas guías era brindar un sustrato para el abordaje de aspectos referidos a la genética, resulta relevante mostrar la necesidad de hacer un trabajo de mayor profundidad que permita a los niños poner en juego sus elaboraciones sobre la célula como unidad constitutiva de los seres vivos, puesto que como sabemos, el arquetipo de la célula como imagen que se propone en los libros de texto conduce a imágenes estáticas y en su mayoría erróneas, que no permiten pensar las estructuras vivientes más allá de la idea de ladrillos adheridos que forman tejidos u órganos, en el mejor de los casos.

4.2. FASE 2. UNO MÁS UNO SON TRES

¿De donde surgen los organismos, bien sea a nivel celular o del individuo como tal? ¿Qué relaciones se establecen entre un organismo y sus antecesores? Son tan solo ejemplos de las preguntas que surgen al observar la variedad de organismos y células a través del microscópico y en las que inicia a cobrar sentido la reproducción. Es en este elemento de la Urdimbre donde se bosquejan las

relaciones entre los organismos. Es en ella donde se trazan vínculos en forma sincrónica y asincrónica, con otros de su misma cohorte y con otras cohortes coexistentes en el mismo tiempo y espacio, o con sus antecesores. Esto nos lleva a que cobre vigencia el problema del surgimiento de los organismos desde el nivel celular y la forma en que este proceso se vincula e integra con el surgimiento de de un individuo. Para ello planteamos las siguientes guías: a) Guía 1. *Omnis cellula ex cellula*; b). Guía 2. La historia vuelve a comenzar; c). Guía 3. Génesis; y d). Guía 4. Vida tinta y pluma.

4.2.1. Guía 1. *Omnis cellula ex cellula*

Para abordar algunos aspectos sobre la historia de la teoría celular se recurrió nuevamente al video “La célula: la historia oculta” con el propósito de comprender el proceso que llevó a la noción de la célula como unidad de constitución, función y origen todo ser vivo. Aludiendo a los trabajos de Robert Brown en 1831 con la descripción del núcleo y cómo este se constituye en pieza clave para que Schleiden y Schwann en 1837, llegarán a la conclusión de que todos los seres vivos estaban formados por células “*donde había vida habían células*”, se realiza un trabajo en el laboratorio con el fin de que los estudiantes realizarán observaciones de núcleos de células epidérmicas presentes en el bulbo de la cebolla. En esta actividad hicimos especial énfasis en la necesidad que tuvieron los primeros microcopistas de desarrollar técnicas de tinción, que les permitieran diferenciar estructuras, a pesar de que estas comprometieran de una u otra forma las funciones de los componentes estudiados.

Les solicitamos a los estudiantes encontrar similitudes entre las observaciones realizadas con las células del epitelio del interior de la boca y las de epidermis de cebolla, encontrando respuestas como estas: “*Lo que tienen en común [las diferentes células observadas] es la membrana celular, [el] núcleo [y el] citoplasma. Las células epiteliales no tienen pared celular a comparación de las vegetales, en este caso la cebolla” “Tienen la misma unidad funcional”.* Aunque

consideramos que este aspecto, es decir, asumir la célula como unidad estructural no se resuelve tan fácilmente, queda claro que es necesario situar a los estudiantes frente a diferentes experiencias que les provean de elementos para establecer vínculos entre diferentes tipos de estructuras celulares, ubicar en ellos regularidades y diferencias llevándolos paulatinamente a comprender que las estructuras pueden variar.

Ahora dimos paso al problema del origen ya que, como lo describimos en la guía, si bien los postulados de Schwann y Schleiden permitieron comprender cómo funcionaban e interactuaban las células, su teoría aún se enmarcaba en la generación espontánea, la cual afirma que dichas estructuras surgían a partir de cristales y humores orgánicos. Fue Remak (1853) quien se interesó por comprender cómo se originaban nuevas células, a partir de la observación del desarrollo embrionario de pollos y ranas, encontrando lo que él llamo células en división: a partir de una célula se originan dos, de dos células, cuatro, de cuatro células, ocho y así sucesivamente hasta la formación del organismo. Estos postulados fueron recogidos por Virchow afirmando en latín "*omnis cellula ex cellula*" que se traduce "*toda célula procede de otra célula*". Con el fin de que siguieran esta ruta de análisis, desarrollamos una práctica que les permitiera observar al microscopio células en división, específicamente en mitosis, a partir de las cofias de raíces de cebolla sometidas a la acción de diferentes tintes.

En este aspecto algunos estudiantes centraron su atención en "*una separación celular, en la fase de citocinesis y observamos un núcleo azul oscuro en dos células muy cercanas que antes fueron una sola*". A partir de esto, pudimos establecer una segunda regularidad en la que, para dar origen a una célula se debe partir de una ya existente, con lo que logramos establecer un nexo entre las células y el organismo, sólo que en esta ocasión el zoom lo proporcionará la embriología. De esta forma tratamos de vincular las células germinales y su unión, con el origen de una célula, el cigoto, y cómo a partir de esta se puede llegar a constituir un organismo tan complejo como el *Homo sapiens sapiens*.

4.2.2. Guía 2. La historia vuelve a comenzar

En esta guía hacemos una recapitulación de los saberes construidos sobre la teoría celular, apoyándonos de diferentes videos sobre la embriogénesis de peces, perros, elefantes, aves y humanos, las observaciones realizadas a través del microscopio y las discusiones generadas en el marco de las actividades. Aún persiste nuestra preocupación por abordar los diferentes niveles de complejidad existentes entre el nivel celular y el organismo. El camino en el que incursionamos nos llevó comenzar por establecer los elementos implicados en la formación de un nuevo individuo y cómo en este se van formando los tejidos, órganos, aparatos, sistemas y la complejidad de sus interacciones. La pregunta de la cual partimos es la siguiente: Cuándo se afirma que "La célula es la unidad de constitución, origen y funcionalidad de los seres vivos" ¿a qué se está haciendo referencia? Al respecto un estudiante puntualiza lo siguiente: "*La fecundación es cuando el ovulo y el espermatozoide se unen, le cae la cola al espermatozoide y ocurre la mitosis, un espermatozoide es una célula y el ovulo también, y como tal cuando se unen generan otra célula; el feto, el bebe. La mórula y la blástula es cuando se divide [la primera célula] en muchas partes y empieza el ectodermo, mesodermo y endodermo. Ectodermo: epidermis de la piel y sus derivados. Mesodermo: Musculo, esquelético, venas, arterias. Endodermo: los órganos digestivos, respiratorios, etc.*"

Cuando presentamos el desarrollo embriológico de un individuo (como un perro, un elefante, un pollo o un ser humano) posibilitamos que los estudiantes generen una visión panorámica de la formación de un organismo, en la que pueden diferenciar los niveles de organización y de complejidad. Sin embargo, cohesionar en un tiempo tan corto hallazgos y construcciones tan complejas como los que han resultado del desarrollo de la embriología, es otro aspecto que muestra la dificultad de abordar problemáticas asociadas al estudio de la genética. La síntesis que logran los estudiantes al observar las imágenes, termina siendo un dato que si no es contrastado y valorado adecuadamente puede conducir a imágenes más

cercanas a lo mágico que al desarrollo de técnicas experimentales que han posibilitado todo un campo de saber: "*En 26 días [refiriéndose al desarrollo embriológico de un ave] una célula se puede convertir en cualquier cosa pero en este momento [se convierte] en un pollo de forma natural, una sola célula da origen a un organismo completo de acuerdo al debido proceso de mitosis. A esa célula se le denomina cigoto"*.

Vemos como el estudiante introduce algunos visos de contingencia en sus explicaciones y establece nexos en procesos de los que tenía unos saberes desligados. Esto nos lleva ahora a discutir sobre el sentido de los fenómenos reproductivos a nivel de los organismos.

4.2.3. Guía 3. Génesis

¿Qué se requiere para que un organismo pueda dar origen a otro? Este interrogante ha quedado en el ambiente y con el propósito de generar una discusión al respecto, nos apoyamos en el fragmento del documental "Génesis"[46] que hace referencia a la reproducción. A partir de este, realizamos una serie de preguntas donde buscábamos que los estudiantes explicarán cómo se integra el proceso reproductivo a nivel celular y los elementos que se vinculan en el proceso reproductivo de los organismos, especialmente en los animales, al indagar su comprensión sobre la frase "*uno más uno son tres*".[47]

[46] Dirigido por Claude Nuridsany y Marie Pérennou, este documental en su sinopsis nos da una pequeña muestra de su contenido: Mezclando humor y seriedad, inocencia y sabiduría, un "griot" africano (especie de trobador/cuentacuentos) utiliza el lenguaje evocador del mito y la fábula para relatar el nacimiento del universo y las estrellas, los ardientes comienzos de nuestro planeta y la aparición de la vida en la tierra; pero se trata de una historia real, de nuestra historia. Nos habla del tiempo, la materia, el nacimiento, el amor y la muerte. Los animales son los protagonistas de este "Génesis" extravagante, moderno e intemporal. Tomado de http://www.filmaffinity.com/es/film421429.html

[47] Cabe señalar que la mayoría de los ejemplos los realizamos con animales, por lo que sería interesante, en otra oportunidad, establecer contrastes con las plantas, tomando en cuenta las particularidades que estas presentan.

Al respecto, los estudiantes señalan que: "*Cuando un macho y una hembra se unen, se aparean, un espermatozoide y un ovulo se vuelven uno, o sea forman otro ser, en resumen queda un macho, una hembra y un retoño*". De esta forma se establecen lazos entre procesos reproductivos a nivel de organismos y a nivel celular, o incluso lo ligan con el desarrollo embrionario de un nuevo ser: "*La unión de dos amantes da como resultado un embrión*".

Además, se observa como los estudiantes incorporan a sus explicaciones los saberes que han adquirido durante su formación, integrándolos de tal forma que aumentan la complejidad de la explicación. Este el caso de situar en ciertos estados de la cromatina, la identidad de un nuevo individuo: *"...para que hallan 3 organismos primero se deben tener dos, con un paquete de cromosomas, uno femenino y uno masculino hace un cromosoma totalmente nuevo y este cromosoma es la vida de un nuevo ser vivo. Pero este acto de unión de los cromosomas se efectúa con la copulación, pero antes de esta hay varios protocolos que se conocen con el nombre de cortejo y esto forma el amor."*

Con esta actividad se vislumbra una tercera regularidad en la que todo organismo se origina de una célula, dentro de un marco reproductivo, y que gracias a procesos complejos de desarrollo se forman los individuos de la prole. Esta visualización nos llevó a plantear la posibilidad de cambiar el lente desde el cual habíamos hasta ahora observado al organismo y ligar los procesos reproductivos con las regularidades que se presentan en las poblaciones, por lo que hicimos el viraje hacia la tradición integrista-evolucionista y su concepción del organismo.

Ahora nuestra discusión se situará en el interrogante ¿qué similitudes y variaciones se pueden observar entre los padres y su prole? para lo que se hizo necesario una clase magistral, con un espacio para controvertir sobre el desarrollo histórico del concepto de especie, ya que en él se establecen los caracteres esenciales o naturales que "supuestamente" se mantienen inmutables desde su

origen. Los caracteres se encontrarían en los signos ocultos, en los órganos. Desde esta primera aproximación surgen controversias en las que algunos estudiantes advierten que las especies no son inmutables porque en el transcurso de la historia de la tierra han aparecido y desaparecido. como el caso de los dinosaurios. Esto nos conduce a incorporar el "tiempo evolutivo" como una variable que ha modificado o modelado numerosos cambios en los organismos. De igual forma, cobra vigencia la preocupación por la variabilidad de los organismos: qué es lo que se conserva en una especie y cuál es el límite que define hasta donde los individuos pueden exhibir diferencias notables entre progenitores y sus congéneres. En este marco cabe la pregunta ¿cuáles son los criterios que se utilizan para diferenciar especies que son muy cercanas?

En el abordaje de esta pregunta se hizo necesario retomar algunas generalidades de la clasificación de los organismos, descendiendo en las jerarquías taxonómicas desde el reino animal hasta la clase de los mamíferos, estableciendo comparaciones entre caballos[48] y asnos[49], o leones[50] y tigres[51]. Por ello, cuando inician las descripciones sobre la correlación de los dos primeros, los estudiantes señalan que: "*Ambos son mamíferos, comen hierba, se reproducen entre sí, su cara alargada, ambos tienen abundante pelo en todo su cuerpo, ambos son utilizados para llevar, cargas o carrosas. Se pueden reproducir mutuamente aunque la especie salga infértil.*" Frente a las diferencias señalan que "*las orejas del burro son más largas, el caballo es más grande que el burro. Los diferencia el nombre que se les da como yegua o burra. El burro sirve para la carga el caballo para correr y los rasgos de la cara*". En estas descripciones se puede observar la

[48] Refiriéndose a *Equus ferus caballus*.

[49] Refiriéndose a *Equus africanus asinus*.

[50] Refiriéndose a *Phantera leo.*

[51] Refiriéndose a *Phantera tigris.*

episteme de la similitud, la *convenientia*[52] en el trasfondo, y el papel que se le asigna a la reproducción como criterio diferenciador.

Proseguimos con el abordaje magistral del concepto de hibridación en animales, seguido de la realización por parte de los estudiantes, de un dibujo del individuo qué se esperaría de apareamientos hipotéticos entre los individuos mencionados en el apartado anterior, junto con el nombre del nuevo organismo y la descripción de sus características y viabilidad reproductiva. Las respuestas evidencian que los estudiantes habían tenido un acercamiento a este tipo de cruces, especialmente a través de documentales de televisión, lo que pone de manifiesto que si conocer es representar y representar es conocer, se puede afirmar que en dicha actividad los sujetos comprometen las representaciones que han construido en sus diferentes espacios de actuación, sean estos cotidianos, televisivos, familiares, escolares, entre otros (Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez, 2003). En la mayoría de casos los estudiantes mencionan: "*Ligre su aspecto es de un gigantesco león con rayas de tigre difuminadas. Al igual que lo leones, los ligre desarrollan una melena. Los ligres nacen estériles...La mula es un animal estéril que resulta de cruzar una yegua y un burro*". En la percepción de los estudiantes, la reproducción cobra otro sentido ya que permite ubicarse en el plano de un grupo de organismos que comparte una serie de regularidades, en este caso similitudes, dentro de un marco de variación. En la permanencia y la variación de los caracteres descansa nuestra primera preocupación, ya que se requiere establecer una serie de generalizaciones o una suerte de reglas que expliquen la forma en que un carácter permanece o reaparece cuando se observan individuos de la misma generación o en generaciones diferentes. Una segunda preocupación, se nos plantea desde la relación existente entre estas generalizaciones y los procesos reproductivos a nivel celular y a nivel de los individuos.

[52] La *convenientia* es la semejanza ligada al espacio en la forma de cerca y más cerca. Pertenece al orden de la conjunción y del ajuste (Foucault, 1968).

4.2.4. Guía 4. Vida, tinta y pluma

En este apartado revisamos las construcciones realizadas por los estudiantes a partir del desarrollo de las actividades previas, evocando las discusiones en relación con los acontecimientos que dan lugar a la formación de un organismo. Como insumo para el desarrollo de este escrito, se proporcionan imágenes que contribuirán como ejemplo y activadores de información. Dentro de las producciones, una estudiante realiza un escrito en relación con la reproducción humana: "*El padre aporta el espermatozoide y la madre aporta el ovulo cuando los espermatozoides están llegando al ovulo solo uno puede entrar y ahí comienza la formación. Primero se unen y forman una célula y después esa célula se divide en cuatro, después en ocho y en dieciséis y así sucesivamente hasta formar el feto. Comienza a formarse en los primeros meses una forma de pez y ave hasta formar el feto... primero se forma el corazón y en cada mes se van formando cada parte del cuerpo... el bebe nace y podemos ver quién de los padres fue que aporto más , hay vemos cuál de ellos dos fue el que hizo que el hijo se pareciera a él...el niño siempre va a tener característica de los dos puede ser en los ojos, o también el tipo de sangre y varias cosas en su actitud y forma de expresarse".* En el primer texto subrayado nótanos que persiste la idea de intencionalidad, es decir, la reproducción tiene a la base un mecanismo causal definido por un individuo que define el devenir del nuevo ser. En el segundo texto, vemos que se ponen en el mismo nivel condiciones materiales de la herencia y manifestaciones que pueden ser producto del contexto cultural, es decir, bien sea de la crianza o de la influencia social.

Es palpable que los estudiantes están en capacidad de describir el proceso de formación de un organismo, teniendo como referente el nivel celular y visualizan como se gana en complejidad, encontrando ciertas regularidades que nos vinculan con otros organismos. En este panorama, observamos una incipiente problematización de la herencia biológica, que busca vincular a padres e hijos y establecer la permanencia o ausencia de ciertas características, tratando de dar su

explicación al respecto cuando indican “quien aporto más”. Estos claros indicios nos conducen a plantear a los estudiantes la pregunta ¿Por qué los hijos se parecen a sus padres? el cual será el planteamiento central de nuestro tercer trazo.

4.3. FASE 3. ¿POR QUÉ LOS HIJOS SE PARECEN A SUS PADRES?

En esta fase buscamos erigir las construcciones alcanzadas por los estudiantes en relación con la teoría celular, la reproducción y la embriología, como base desde la cual se abordan los problemas de la herencia biológica. Así mismo, pretendemos brindar un contexto en el cual se puede explicar la permanencia, la aparición o reaparición de nuevas características, tanto en individuos como en poblaciones, abordándolo desde una tendencia integrista-evolucionista. De esta forma, haremos una incursión al lenguaje que rige los códigos que dirigen lo vivo. En este contexto se plantean cuatro guías: a). Guía 1. Los hijos de parecen a sus padres; b). Guía 2. En el monasterio se forja la herencia; c). Guía 3. ¿Qué se transmite de padres de hijos?; y d). Guía 4. Amalgama.

4.3.1. Guía 1. Los hijos se parecen a sus padres.

Aunque la afirmación en nuestro contexto parece obvia, debemos recordar que antes del siglo XIX no lo era y que se requirió de un profundo cambio en las epistemes que regían cada época, para que emergiera la reproducción como un proceso capaz de establecer una regularidad en lo viviente, dándole un nuevo sentido y un fin a los seres vivos, de tal suerte que se le quito el velo teleológico y las fuerzas supraterrenales que con sus designios marcaban el destino de todo lo viviente. En este juego todo era posible. Por eso, establecer una regularidad en la que “*los hijos se parecen a los padres*” se convierte en un punto de partida, en el que se puede debatir sobre la permanencia y variación de las características en las poblaciones y los mecanismos que rigen este proceso de transmisión de padres a hijos, así como las estructuras encargadas de participar en estos. Para

ello, se han diseñado tres actividades. En la primera actividad, presentamos una serie de imágenes de padres e hijos que el estudiante debe relacionar a través de una línea, teniendo en cuenta su vínculo e indicando las razones que justifican la elección. Posteriormente, entregamos imágenes de tres niños para relacionarlas con la familia que considere pertinente.

En este sentido observamos cómo los estudiantes recurren a los planteamientos hechos en clase, pero encuentran dificultades para describir aquellas características que les permiten identificar y diferenciar organismos de especies diferentes, por lo que recurren a una palabra conocida por ellos con anterioridad: rasgo: *"Porque padre y madre forma un tercero y se pueden reproducir formando una nueva célula, un feto que tiene características del padre y la madre y que mediante este proceso el hijo lleva los mismos rasgos de la madre y el padre por ejemplo: Con el gato el papá es de color negro y la mama de color blanco, se unen el ovulo y el espermatozoide para forma un feto que va a llevar los rasgos de los dos así que el nace de color negro con blanco y saca los ojos del padre".* En contraste, otro estudiante opina, frente a la forma en que se observan los rasgos en los hijos, lo siguiente: *"Porque cada animal tiene un parentesco o similitud porque al unir los dos de especies iguales sea el gato con otro gato o la araña con otra araña va a dar hijos iguales con los mismos rasgos".* En las explicaciones ofrecidas se observa la idea de conjunción, es decir, en la prole se unen las características de los progenitores; aún no hay un indicio de una diferenciación clara entre las características que pueden ser heredadas y cómo se manifiestan en los hijos, y más aún en las generaciones posteriores. Estas provienen de la similitud y la proximidad, en la mayoría de casos de forma intuitiva.

Se observa también, que dichas explicaciones están referidas al marco de la individualidad. Incluso algunos estudiantes asignan este papel a los genes: *"El niño sale negro por los genes del padre y madre si los dos son de color negro es probable que salga negrito"* Pero cuando indagamos por lo que ellos entienden por gen, aluden a que en la televisión se menciona la palabra continuamente, pero no

pueden explicar a que hacen referencia o en qué lugar de la célula los podemos situar.

En la segunda actividad, tratamos de profundizar en la idea de rasgo o característica y la forma en que este permanece o varía. Para ello, solicitamos a los estudiantes que observen fotografías de padres y/o familiares cercanos comparándola con la fotografía personal, especialmente en los primeros años de vida. La comparación se realiza utilizando los siguientes parámetros: tipo de parentesco, criterio, semejanzas y diferencias.

En este ejercicio los estudiantes compararon, en su mayoría, rasgos del rostro y algunos relacionados con el comportamiento, seleccionando para tal fin a padre, madre, primos o tíos y, dependiendo del grado de acercamiento, hermanos. En ellos reconocen la forma de la nariz, la presencia de lunares, las proporciones del rostro, la forma de las orejas o la textura del cabello. Este ejercicio fue particularmente exigente, ya que para nuestros estudiantes les resulta complejo utilizar un criterio desde el cual puedan establecer no solo semejanzas, sino también diferencias. De esta forma, encuentran patrones en su apariencia y en algunos casos en sus rasgos comportamentales, que los hacen particulares al ser comparados con otras personas, pero que se comparten con los integrantes de su familia o con las personas con las que tienen un grado de consanguinidad. Hay que reconocer que en la actividad no se hizo una distinción clara entre lo que es una característica y un carácter; los análisis estaban orientados más a describir estructuras en el plano de lo visible y en propiciar en el estudiante la formación de criterios desde los cuales pudiese realizar comparaciones y establecer diferencias. En este sentido, las relaciones que se establecen son del corte “se parece a… en este aspecto”, señalando que en la relación entre padres e hijos, existen características que persisten en el tiempo, disipándose o reapareciendo en la prole de la siguiente generación.

En la Tercera actividad, les pedimos que identifiquen una característica física que presenten varios miembros de su familia (un lunar, una mancha, color de ojos, textura del cabello, color de la piel, entre otros), para realizar su rastreo y plasmar los resultados en un árbol genealógico.

Encontramos que la mayoría de los estudiantes seleccionó lunares o manchas familiares, que llamaron particularmente su atención. En los árboles genealógicos concentramos la atención, en observar cómo se presenta la variación entre individuos que corresponden a la misma generación y a generaciones anteriores, tratando de incursionar y bosquejar la idea de tiempo en este tipo de procesos. Además, se buscó ubicar esta problematización, no en el marco de individuos únicamente, sino en el marco de grupos de organismos que comparten un grado de consanguinidad. Para profundizar un poco en estos aspectos, recurrimos al trabajo de Mendel, el cual pone en relieve elementos que consideramos están a la base a la hora de abordar este tipo de problemas.

4.3.2. Guía 2. En el monasterio se forja la herencia

¿Qué se trasmite de padre y madre al hijo? ¿Qué mecanismos gobiernan este proceso? ¿Por qué una pareja de gatos siempre tiene hijos gatos y no perros? o ¿Por qué te pareces a tus padres o a tus familiares cercanos? Estas preguntas siguen vigentes y en el saber basado en la experiencia de los hibridadores, cobran un sentido que pronto hará eco en el saber disciplinar. En esta guía se abordará el trabajo de Gregor Mendel con el propósito de estudiar los mecanismos de la herencia. De esta manera, comenzamos por hacer una breve referencia a su biografía, para continuar con un conversatorio en el que se establecieron las dificultades para estudiar diferentes generaciones de una familia, como la que conforman los estudiantes, en virtud del tiempo, la composición, el número de personas a analizar producto de cada uno de los procesos reproductivos, entre otros factores. Luego los invitamos para que seleccionen una especie, de un conjunto que se les presentó con algunos de sus rasgos, de acuerdo con la

presencia de características que les permitan obtener observaciones útiles para estudios en genética.

Al respecto, los estudiantes seleccionaron especies como *Megaptera novaeangliae* (ballena jorobada) ya que: *"el requerimiento que tiene fue porque ellas paren generalmente cada dos o tres años. Me gusta el ballenato"; Canis lupus familiaris* (perro): *"porque es reproducción sexual, porque son más fértiles y fáciles de criar o educar, porque es el mejor amigo del hombre"*; *Cattleya trianae* (Flor de mayo) ya que *"hace una reproducción asexual, el desarrollo de la flor dura cuatro años, de la orquídea se pueden sacar varias orquídeas con el mismo parecido a la original".* Observamos que en este aspecto prima la semejanza desde la simpatía con la especie seleccionada y, como condición secundaria, se tiene en cuenta las crías por parto, la reproducción (sexual o asexual) y el tiempo de desarrollo. Esto nos permitió ampliar la información sobre la cual se plantea la discusión, presentando el trabajo de horticultores y criadores en la selección de rasgos particulares y cómo a través de la identificación estos podemos seleccionar el material de estudio adecuado para nuestras pretensiones.

Comenzamos por la presentación del fragmento referido al trabajo de Mendel, del documental "Los diez experimentos que marcaron la historia", con el cual se plantea la pregunta ¿Cuáles fueron las razones que llevaron a Mendel a escoger las plantas del genero *Pisum* para sus estudios? Ante este interrogante, varios estudiantes respondieron: *"es más fácil de observar características o rasgos de la arveja, porque las arvejas no se demoran en reproducirse y es más fácil de manipular"* En este aspecto, queremos indicar que en lo que sigue, se tratará de establecer una cuarta regularidad en la que, para realizar estudios con lo viviente, se hace necesario identificar el organismo más adecuado para cumplir con los fines del estudio, sin olvidar las consideraciones éticas que se derivan, especialmente en trabajos donde se emplean animales.

Nuestra atención se centró en los criterios en los que Medel enfocó su atención para seleccionar su objeto de estudio. Se discutió ampliamente sobre la multitud de características que se pueden observar en un organismo y la complejidad de abordar el estudio de las plantas, ya que requiere el uso de un lenguaje específico. Además, explicamos el concepto de carácter en el contexto del trabajo de Mendel y el por qué este seleccionó a siete de ellos. A los estudiantes se les propone que identifiquen las variantes de tres caracteres presentados en imágenes. Luego, se presentan dos variedades de *Pysum* tomando un solo carácter, el color de la flor, para señalar las diferencias entre caracteres dominantes y recesivos. Acompañamos esta información con la explicación sobre lo que describe el primer postulado de Mendel. En este aspecto se pretende establecer una serie de regularidades que se derivan de la necesidad de establecer una simbología y una comprensión del papel del tiempo y la relación entre generaciones, que lleven a describir lo que se denominaría *factor* y cómo los caracteres se manifiestan o permanecen latentes entre las generaciones y los individuos de una misma cohorte.

En relación con la primera generalización un buen número de estudiantes opina que: *"Mendel trato de que las características dominantes es la del macho o la del color, se nota en la segunda generación que pasaría a la tercera generación"* Encontramos una clara tendencia donde se sigue relacionando la dominancia con el género masculino. Además, hay una marcada comprensión de esta como algo que aparece en las diferentes generaciones, en contraposición con la recesividad, con la cual presentan dificultades para su análisis.

4.3.3. Guía 3. ¿Qué se transmite de padres a hijos?

A partir de esta pregunta tratamos de abordar la materialidad de los factores mencionados por Mendel, así como la forma en la que son heredados de padres a hijos. Con esto queremos hacer un viraje de la episteme desde la cual veníamos tratando el problema de la permanencia o variación de características dentro de un

grupo de organismos que comparten algún grado de consanguinidad, relación que se trazaba desde la semejanza o la similitud en un campo indiferenciado, a ahora entrar a considerar y resaltar que la transmisión de caracteres se realiza siguiendo una serie de patrones claros (en cuanto lo permiten las generalizaciones de Mendel) y con una lógica matemática de corte probabilístico. Dichos procesos están vinculados con elementos estructurales presentes en la célula y que dan cuenta de este proceso desde una base material. El estudio de esta base material de la herencia, inauguraría una nueva forma de ver lo vivo, encontrando puntos comunes para las duplas planteadas en la trama e imponiendo retos de corte experimental cada vez más complejos para estudiar los cromosomas y las macromoléculas encargadas de resguardar los códigos, desde los cuales se estructura y funciona lo vivo.

De esta forma, comenzamos por acudir a un fragmento del documental de La célula: la química de la vida a partir del cual plantean los siguientes interrogantes: ¿cómo saben las células que hacer para constituir un organismo a partir del cigoto? ¿qué ocurre dentro de las células? ¿cómo fabrican esas estructuras tan diminutas organismos vivos? Para llegar a las respuestas, el primer paso fue ampliar los estudios sobre el núcleo, mencionando los trabajos de Friedrich Miescher (quien estudio la composición química del núcleo, a la que denominó nucleina) y los de Theodor Boveri[53]. Luego, llevamos esta conceptualización a la práctica a través de la observación de los cromosomas a través del microscopio, para lo que hicimos montajes tanto de cofias de raíces de cebolla (en mitosis) como de botones florales de geranio (en meiosis) sometidos al proceso de tinción con aceto-orceína. Los estudiantes realizaron los dibujos respectivos de las observaciones y sus descripciones.

[53] Observando cigotos de peces, encontró la presencia de unas estructuras como bastones que aparecían en el momento de la división, y que se despegaban dirigiéndose hacia los polos. Luego, el núcleo se dividía en dos, al igual que la célula. Estos bastones fueron reconocidos posteriormente como cromosomas.

Para poder realizar las observaciones, se requirió de dos sesiones de dos horas cada una, ya que en la primera se presentaron dificultades con los reactivos, a pesar de poseer fecha de vencimiento vigente y seguir el respectivo protocolo al pie de la letra, lo que no permitió colorear los cromosomas. En la segunda sesión se prepararon las soluciones para la tinción, cambiando los reactivos empleando el ensayo de prueba y error, como lo registra una estudiante: *"Al principio no pasa nada a nuestra percepción pero luego se aplica un químico en dónde podemos observar la separación de cromosomas los cuales son portadores del ADN".*

Los estudiantes se refieren a los cromosomas de la siguiente manera: *"En la placa se observan que hay células con núcleo y nucleolo que están en reposo, hay dos en proceso de división... y se observan hilos de colores llamados cromosomas en la placa y los procesos son la profase y anafase"*. Al respecto, los estudiantes están vinculando la división de las células con la formación de los cromosomas y la forma en que estos cambian para garantizar su reparto en las células hijas.

Ahora se traza un vínculo entre lo que Mendel denominó factores particulados con las observaciones realizadas: *"los dos investigan el por qué se alteran las características de los seres vivos y cambian entre dos seres, ya que los cromosomas son diferentes y los cromosomas contribuyen a su desarrollo"*. Ya no es la sangre la que define lo que será un organismo, sino que el determinante de las características y rasgos distintivos de un individuo es el material que se reparte en las divisiones celulares y que se hace evidente en los cromosomas. De esta forma hay un vínculo material entre los padres y la prole, que estaría implicado en los mecanismos de la herencia. Los cromosomas se constituyen en estructuras celulares susceptibles de ser analizadas por fisiólogos y químicos moleculares, que encontrarían en su estructura y los códigos que la rigen, los procesos de transmisión de las características. Así lo indica una estudiante*: "Según se ha visto en la ciencia cada cromosoma contiene información, ADN de los antepasados de cada persona".*

Por último, nos detuvimos para tratar de esbozar el papel que cumplen los cromosomas, los genes y el ADN, para lo cual nos basamos en explicaciones magistrales y la observación del segundo fragmento del documental La célula: la química de la vida. De esta forma, buscamos ubicar a los estudiantes en los aspectos que llevaron a establecer la teoría cromosómica de la herencia; los trabajos y experimentos que identificaron al ADN como la molécula responsable de la herencia y la modelización de su estructura, permitiendo el surgimiento de una serie de estudios moleculares y tecnologías que abrieron el campo de la biología molecular y posteriormente, el de la ingeniería genética.

A partir de esta actividad, encontramos apreciaciones como: los cromosomas *"son los responsables de las características hereditarias, de los rasgos físicos y comportamientos, ellos contienen el ADN del individuo combinando el ADN de su padre y de su madre"*. Si bien hay algunas imprecisiones, vemos cómo el estudiante ha llegado a la construcción de lo que para él es un gen; ya no es solo algo que escucho en la televisión, sino que le da un papel fundamental en la trasmisión de caracteres y lo relaciona con procesos reproductivos y de herencia biológica.

4.3.4. Guía 4. Amalgama

En la amalgama observamos cómo se conjugan una serie de elementos que adquieren nuevas propiedades. Discutimos las condiciones en que se descubrió la estructura de la molécula de ADN, su función y cómo su manipulación ha llevado a desarrollar un nuevo campo, el de la ingeniería genética, con sus múltiples avances en las últimas décadas. Estos aspectos fueron confrontados con las cuestiones iniciales problematizadas por la herencia biológica. Para tal fin, hacemos un análisis de varios artículos de divulgación científica que plantean la aplicación de nuevas técnicas desarrolladas en este campo. Posteriormente, realizamos una plenaria en la que planteamos las siguientes preguntas a los estudiantes: ¿Estás de acuerdo con la manipulación genética en animales y

plantas? Cuando se habla de la posibilidad de hacer "bebes a la carta" ¿a qué se hace alusión? ¿Puede admitirse este intento de erradicación de cualquier mínimo defecto genético eliminando al mismo ser humano? ¿Dónde comienza y dónde acaba este proceso de eliminación de la vida humana? ¿Cuál es tu posición frente al perfeccionamiento genético en humanos? ¿Qué criterios deben guiar la manipulación genética en humanos?

Las manifestaciones de los estudiantes en la plenaria están en contra de la manipulación genética en humanos con fines de perfeccionamiento. Consideran que los limites que definen lo que es admisible y lo que no, no son claros y en ese margen se pueden cometer arbitrariedades: *"La perfección se alcanzaría físicamente pero a las personas que se les altere sus genes no tendrían la posibilidad de elegir y desarrollar todas sus cualidades, no estoy de acuerdo porque no tendrían derecho a decidir sobre las alteraciones que le hagan a su cuerpo"*. De tal suerte que todo tipo de desarrollo que implique llevar al extremo una determinada cualidad, atentaría con los derechos de las personas en la medida en que no tendrían la posibilidad de desarrollarse libremente. Por otro lado, frente a la posibilidad de utilizar estas técnicas de manipulación genética en la prevención de enfermedades, son más abiertos a las oportunidades de mejorar la calidad de vida y la salud de las personas: *"Estoy de acuerdo ya que se podría ampliar las soluciones para las enfermedades de este tipo [refiriéndose a las enfermedades genéticas que no son cubiertas por el sistema de seguridad social Colombiano]"*. Estas opiniones contrastan con aquellas en las que existe un alto sentido teológico y que no admiten un tratamiento terapéutico de este tipo: *"pues no me gustaría que experimenten [refiriéndose a la posibilidad de prevenir o corregir una enfermedad manipulando el embrión o el feto], yo digo que si nacen con alguna discapacidad o enfermedad es porque Dios lo creo así".* En el caso de admitir la posibilidad de manipular genéticamente a un humano, una planta o un animal, se concuerda en que se debe respetar el derecho a la vida, aunque se genera discusión sobre la dignidad y condiciones en las que ésta se desarrolla y más aun frente a la posibilidad del libre crecimiento en condiciones de equidad. Al

respecto las intervenciones contrastan entre aquellos que ven en la ingeniería genética la posibilidad de generar diversas aplicaciones terapéuticas y aquellos que tienen un amplio sentido de finalidad y no admiten una alteración de lo vivo, ya que desde sus convicciones religiosas, consideran que los "seres de la creación" no deben ser alterados pues ellos tienen una tarea o propósito de orden superior que no puede ser modificada por nuestra condición de mortales.

Para finalizar el debate, pusimos como cuestión general el planteamiento propuesto en la introducción de la guía: "Hasta el momento el centro de nuestro análisis sobre la Herencia Biológica era la pregunta ¿Por qué los hijos se parecen a los padres? en el marco de la reproducción y selección de variedades en diferentes niveles. Acudimos al concepto de especie y a los trabajos de Gregor Mendel para explicar que se transmite de generación en generación. Pero al revisar estos artículos de difusión científica observamos que la cuestión en la actualidad se reorienta a ¿Cómo hacer para que los hijos no se parezcan a los padres? En este sentido, ¿los padres tendrían derecho de manipular o alterar la información hereditaria de sus hijos? ¿Cuál es tu opinión frente a este planteamiento? La mayoría de los estudiantes se manifiestan en desacuerdo: *"no estoy de acuerdo, porque los hijos tienen que llevar los rasgos de los padres y manipular es como quitarles los rasgos hereditarios", "no tienen derecho los padres, como les pueden hacer eso a sus hijos manipularlos como si fueran objetos"; " no [tienen derecho] porque tienen que dejar que la naturaleza haga lo suyo o sino no podrían heredar nada de sus antepasados", "no estoy de acuerdo porque ellos no saben si el niño en ese proceso de alteración sufra, además ellos no tienen porque alterarlo si son sus hijos. Deberían aceptarlos tal y como son ya si ellos no están conformes con lo que son que cuando sean grandes se hagan cirugías", "no estoy de acuerdo porque le están quitando la libertad y dignidad de ser como lo crearon", "no estoy de acuerdo ya que todos tenemos el derecho de elegir sobre nuestro cuerpo y no los demás así sean nuestros padres".*

En cada una de las intervenciones evidenciamos que en este campo ya comienzan a interactuar otro tipo de referentes para orientar sus decisiones, aspecto que dejaría de ser objeto de la enseñanza de las ciencias naturales, pero que involucra una profundización teórica y el desarrollo de criterios claros abordados desde las preocupaciones bioéticas. En los estudiantes se desarrollan elementos para situarse en la discusión, ofreciendo argumentos en los que interactúan no solamente los sabes escolares, también entran a jugar las convicciones religiosas, algunas muy arraigadas en la mente y el proceder de los participantes. Ante este último aspecto, los estudiantes son muy respetuosos y plantean inquietudes y dilemas morales profundos, con argumentos derivados de las construcciones realizadas en clase sobre la manipulación de lo viviente y sus implicaciones sobre la integridad de los organismos, en especial con animales.

Genera especial interés la manipulación genética con fines terapéuticos para el tratamiento de enfermedades genéticas complejas, en las que se pasa de las respuestas a priori a reflexiones donde los estudiantes realizan introspecciones, cuestionándose sobre su proceder en el caso de enfrentarse ante una situación de este tipo. Es importante que resaltemos las consideraciones en las que los estudiantes toman una posición crítica asumiéndose como ciudadanos de derecho, que pueden tomar decisiones sobre los aspectos que, de una u otra forma, afectan su vida.

4.4. LAS EPISTEMES QUE SUBYACEN EN LAS EXPLICACIONES

Al analizar las diferentes explicaciones propuestas por nuestros estudiantes en las actividades realizadas, nos encontramos con que ellos explican desde la episteme de la semejanza en sus diferentes niveles, los cuales describe Foucault (1968):

> La *convenientia* es una semejanza ligada al espacio en la forma de cerca y más cerca. Pertenece al orden de la conjunción y del ajuste...La segunda forma de similitud es la *aemulatio*: Una especie de conveniencia que estaría libre de la ley del lugar y jugaría, inmóvil en la distancia...La tercera forma de la similitud es la analogía...En esta...se superponen la *convenientia* y la *aemulatio*... Tanto esta

> reversibilidad como esta polivalencia dan a la analogía un campo universal de aplicación. Por medio de ella, pueden relacionarse todas las figuras del mundo. Sin embargo, existe en este espacio surcado en todas direcciones, un punto privilegiado: está saturado de analogías (cada una puede encontrar allí su punto de apoyo) y, pasando por él, las relaciones se invierten sin alterarse...la cuarta forma de semejanza queda asegurada por el juego de las simpatías. Aquí no existe un camino determinado de antemano, ninguna distancia está supuesta, ningún encadenamiento prescrito.

Es esta misma episteme la que fue característica del siglo XVI, cubierta por el velo de la teleología, la cual en la actualidad genera un sin número de posibilidades desde las cuales, se puede explicar y afirmar como verdadera o plausible la información que circula en los diferentes medios de comunicación, donde por ejemplo, se presentan videos de sirenas, dragones y toda suerte de animales fantásticos sacados en algunos casos de los bestiarios medievales, que para muchas personas son reales. Esta episteme subyace en toda y cada una de las actividades que realizamos. El estudiante recurre a la *convenientia* cuando nombra y describe a los seres vivos de mayor y menor tamaño según el conocimiento que tenga de estos, y a la simpatía cuando su selección depende de su majestuosidad, nivel de agrado o si causa una enfermedad digna de su rechazo. Otro caso se da, cuando aludimos a la teoría celular y su estatus en el organismo, donde se observa una clara dificultad en especial para diferenciar los distintos niveles de organización. Por ello, cuando se habla de la célula la mayoría de explicaciones que hacen de sus funciones están cargadas de analogías, en donde se asimilan con el funcionamiento de ciudades o procesos fisiológicos humanos. Incluso en las explicaciones sobre los caracteres dominantes se asocian a la figura antropomórfica del “macho” donde la *aemulatio* esta tras el telón.

Sobre este saber, Foucault (1968) resalta que si se interroga el saber del siglo XVI en su nivel arqueológico (es decir, en lo que lo ha hecho posible), aparecen las relaciones entre macrocosmo y microcosmo como un simple efecto superficial. En esta episteme podemos perfilar las relaciones de quien conoce, de tal suerte que cuando un estudiante o nosotros mismos, dibujamos lo que vemos a través del

microscopio como una mancha de colores o en blanco y negro, se puede percibir que difícilmente lo podemos asociar con un elemento similar o semejante que se presente en nuestra cotidianidad. De esta forma, la semejanza representa nuestro primer acercamiento al mundo, ese del que brotan pequeños animaculos y celdas de un panal. En la semejanza, las marcas que ha dispuesto la deidad se convierten en signos que marcan un designio que vincula, en un continuo, a todos los organismos. Estas signaturas se convierten en el faro que dará cuenta de la relación de lo que es asemejado. Un lunar familiar, la nariz, la forma del rostro, se convertirán en signos del parentesco. En una vecindad cercana podríamos colocar aquellas preguntas, cuya respuesta única, inmediata y a veces al unisonó, es el ADN, vinculándolo como el responsable de la identidad de un individuo, aunque sin la posibilidad de situarlo en el organismo. Estos se pueden convertir en elementos que a posteriori, serán fruto de comparación.

Dicha comparación se da también en la episteme de la representación, propia del siglo XVII y que concuerda con lo que Jacob (1999) ha catalogado como la estructura de lo visible. En esta episteme hay un cambio de estatuto, ahora la comparación está a la base de las explicaciones. De acuerdo con Foucault (1968), se dan dos tipos de comparación: el uno analiza en unidades, a fin de establecer relaciones de igualdad y desigualdad; el otro establece elementos, los más simples que puedan encontrarse, y dispone las diferencias según los grados más débiles posibles. Por eso, para deslindar el mundo de las semejanzas, debemos estar en capacidad de reconocer los elementos mínimos o comunes a todos los organismos, en donde la reproducción como fin de todo organismo y la teoría celular, pueden aportar elementos significativos. Foucault (1968) también nos indica que es la historia natural la que mayores contribuciones puede hacer en este campo, puesto que así dispuesta y entendida, tiene como condición la posibilidad de la permanencia común de las cosas y del lenguaje a la representación; la historia natural no es otra cosa que la denominación de lo visible.

La botánica lidera este campo, ya que las estructuras de las plantas son visibles sin necesidad de escudriñar en su interior, como en el caso de los animales. En nuestro trabajo son fundamentales, ya que en ellas históricamente se concreto el significado del carácter. Al respeto Foucault (1968) puntualiza:

> El establecimiento del carácter es, a la vez, fácil y difícil. Fácil ya que la historia natural no tiene que establecer un sistema de nombres a partir de representaciones difíciles de analizar, sino fundamentarlo en un lenguaje que ya se ha desarrollado en la descripción. Se nombrará no a partir de lo que se ve, sino a partir de los elementos que la estructura ha dejado pasar ya al interior del discurso. Se trata de construir un segundo lenguaje a partir de este primer lenguaje, pero cierto y universal. Sin embargo, pronto aparecerá una dificultad mayor. Para establecer las identidades y diferencias entre todos los seres naturales, habría que tener en cuenta cada uno de los rasgos que pudieran ser mencionados en una descripción. Tarea infinita que haría retroceder el advenimiento de la historia natural a una inaccesible lejanía, si no existieran técnicas para cambiar la dificultad y limitar el trabajo de comparación. Es imposible verificar, a priori, que estas técnicas son de dos tipos. O bien hacer comparaciones totales, aunque en el interior de grupos empíricamente constituidos en los que el número de las semejanzas es evidentemente tan elevado que la enumeración de las diferencias no tardará en terminarse; así podrá asegurarse, cada vez más de cerca, el establecimiento de las identidades y de las distinciones. O bien elegir un conjunto acabado y relativamente limitado de rasgos, en los que se estudiará, en todos los individuos en los que se presenten, las constantes y las variaciones, la estructura elegida para ser el lugar de estas identidades y de las diferencias pertinentes es lo que recibe el nombre de carácter.

El carácter es fundamental en la lógica de la clasificación de los organismos y cobra aún más vigencia en la segunda mitad del siglo XIX con Mendel y sus contemporáneos. Cabe resaltar, que este es fundamental para comprender o establecer identidades y diferencias desde las cuales podemos comparar organismos, bien sea en el contexto de los individuos o de las poblaciones.

Observar en este contexto, no se limita a “ver” tal cual aparecen los gráficos de lo encontrado a través del microscopio, sino el asumir que estos son representaciones. En este sentido, serían cuatro las variables que entrarían en consideración en estas representaciones: forma de los elementos, cantidad de esos elementos, manera en que se distribuyen en el espacio los unos en relación a los otros y magnitud relativa de cada uno (Foucault, 1968). En este tipo de descripciones, las similitudes ya no están en el marco en que se dan las

interpretaciones, ahora entra en juego la representación que entra a considerar los elementos que dan cuenta de la estructura y, de esta forma, dos observaciones pueden ser comparables. Por lo que, la estructura, al limitar o filtrar lo visible, le permite transcribirse al lenguaje; gracias a ella, la visibilidad del animal o de la planta pasa entera al discurso que la recoge (Foucault, 1968).

Cuando solicitamos a los estudiantes que encuentren similitudes y diferencias a partir de un criterio en una observación, la tarea se torna compleja y ardua, más aún, si analizamos el interior del organismo. No es extraño que esto suceda, ya que se requiere de una modificación de la episteme. Esta fue la razón por la cual el siglo XVI y XVII, la historia natural cobra importancia, la anatomía y la fisiología no representan el desarrollo que reportará la primera, porque hubo que establecerse un sistema en el que la representación y su lenguaje dieran cuenta de la estructura de un ser vivo. Pero esta perspectiva cambia con la introducción del microscopio a la observación. En este sentido Foucault (1968) explica:

> Del lado de los orígenes o motivos se colocan los nuevos privilegios de observación: los poderes que se le atribuirán, a partir de Bacón, y los perfeccionamientos técnicos que le otorga la invención de microscopio. Se dirá, quizá, que el uso del microscopio compensa estas restricciones; y que si se restringiera la experiencia sensible por el lado de sus márgenes más dudosos, se extendería hacia los nuevos objetos de una observación controlada técnicamente.

Estas condiciones técnicas y las observaciones que permitirán establecer una teoría celular se dan en el marco de la representación, en la que todos los organismos poseen una base común, la célula.

5. DESCIFRANDO EL TAPIZ

Ninguna obra de arte es un resultado definitivo,
sino una aproximación, un camino hacia ese misterio inefable
al que se dirigen los creadores.
Esteban Arriaga

En este punto partimos por preguntarnos ¿qué significado cobran las escenas que surgen del tapiz, desde el cual hemos abordado la herencia biológica como un problema de conocimiento en el aula? La respuesta a éste interrogante implica volcar nuestra mirada sobre lo que hemos construido hasta el momento, permitiéndonos reflexionar y trazar criterios orientadores de nuestra práctica pedagógica. De esta forma, nuestro accionar nos llevó a elaborar un telar en donde colocamos los soportes en los que descansan los hilos de la urdimbre y la trama, y con los cuales realizamos un tejido en el que se entrecruzan los saberes de los estudiantes, los docentes y el saber disciplinar. En este tapiz, con la complejidad que puede llegar a entrañar una obra de arte, se representa la episteme desde la cual observamos el mundo y que, en nuestro caso particular, recrea las construcciones realizadas en el aula, las cuales nos permiten, a manera de consideraciones finales, hablar de unos lineamientos a tener en cuenta al abordar la herencia biológica en la escuela. Estas reflexiones nacen de la singularidad desde la que abordamos nuestros interrogantes y que pueden contrastar con las singularidades de los diferentes profesionales, que también se preocupan por los problemas biológicos puestos en el aula.

La cuestión que nos permitió configurar este escenario fue ¿Por qué los hijos se parecen a sus padres? Para responder esta pregunta recurrimos a lo que Foucault (1968) denominó *Episteme.* Aunque estas no coexisten en el mismo tiempo y, como lo aclara el autor, no hay una fecha que delimite el inicio y el final, queda

abierta la posibilidad desde la cual le apuntamos en este trabajo, a que un individuo pueda migrar de episteme, por lo menos en lo que concierte al campo de la herencia biológica. A nivel disciplinar, los elementos desde los que bosquejamos la urdimbre, que representa la respuesta a esta pregunta, nos sitúan en la reproducción de los organismos, la teoría celular, la teoría evolutiva y la materialidad de la herencia. Todos ellos atravesados por la trama que se funda en las tensiones entre las duplas finalidad/mecanismo, necesidad/contingencia, estabilidad/variación y continuidad/discontinuidad.

Estos hilos conforman el tejido que cobra sentido en el aula, en donde partimos de los saberes que han construido los estudiantes durante su paso por la escuela. Sin embargo, en nuestro primer acercamiento, nos encontramos con que a pesar cursar grado octavo y tomando en cuenta que con antelación han tenido un acercamiento a la teoría celular, la reproducción y la clasificación de los organismos (según los estándares y el plan de estudios de la institución), persisten dificultades en comprender la forma en que se articulan e interaccionan los distintos niveles de organización y los procesos vinculados con ellos. Esto nos puso de manifiesto, la necesidad de profundizar en el aula cada vez más en dichos conceptos y establecer relaciones más claras entre ellos, lo cual nos implicó como maestros profundizar, articular y establecer claridades, a nivel epistemológico e histórico, en muchos aspectos del conocimiento disciplinar, los cuales reconocemos cuando ahondamos en las diferentes epistemes que se han construido sobre la herencia biológica. A partir de este trabajo podemos concluir, de forma personal, que ampliar nuestro bagaje conceptual en los diferentes campos de la biología, a partir de nuestra inmersión en su desarrollo histórico, epistemológico, teórico y experimental, nos brinda elementos para hacer más significativa su enseñanza en el aula.

Otro aspecto que apreciamos en el tapiz, nos muestra que los supuestos desde los que hemos desarrollado nuestro accionar, permiten rastrear en nuestros

estudiantes una nueva serie de regularidades, que aparecen con el desarrollo de su trabajo en la propuesta de aula, a saber:

1. En la célula descansa la unidad estructural de lo vivo, en la que se observan como elementos comunes la membrana celular, el citoplasma y el núcleo los cuales se constituyen en parte de su representación. Esta generalización requirió un cambio en la concepción del individuo, en la que no solamente se reconocen las estructuras inscritas en el orden de lo visible (el órgano, su disposición y configuración en relación con el individuo), sino que se dirige la observación al campo microscópico, en donde las preguntas del fisiólogo por el órgano, la función y su interacción nos conduce a explorar el mundo viviente hasta lo profundo de su organización, en este caso el nivel celular. Es en la célula donde podemos encontrar el hilo de la continuidad vinculando plantas y animales, al igual que el lenguaje, los códigos y los mensajes que se transfieren de padres a hijos y que darán cuenta del por qué los hijos se parecen a los padres.

2. Para dar origen a una célula se debe partir de una ya existente. La célula como unidad fundamental de la organización, se sitúa en la base de la reproducción de un organismo al igual que la “memoria” que se encarga de mantenerla de generación en generación. De esta forma, la teoría celular le conferirá a la herencia una estructura material accesible al estudio en la que se pueden situar los mecanismos de la reproducción.

3. Todo organismo se origina de una célula en el marco de un proceso reproductivo complejo situado en diferentes niveles como lo muestra la embriología. Al dotar a la reproducción de estructuras y mecanismos a nivel celular, se plantean dos dimensiones del proceso. Por un lado la reproducción con miras a definir o mantener las estructuras y garantizar supervivencia del individuo. Por el otro, se observa la reproducción a escala de poblacional con el fin de asegurar la supervivencia de la especie.

4. La información que define las relaciones entre padres e hijos está vinculada al proceso de reproducción, sus bases materiales y los mecanismos que la

regulan se sitúan a nivel celular. En el marco de este proceso los cromosomas juegan un papel crucial al ser estructuras materiales observables con las cuales se pueden relacionar las generalizaciones desarrolladas por Mendel y desde los cuales se puede escudriñar en las bases moleculares de la herencia, hasta llegar a la estructura del ADN y el acceso al lenguaje informacional.

5. Para realizar estudios con lo viviente se hace necesario identificar el organismo más adecuado para cumplir con los fines, teniendo las consideraciones éticas, especialmente en trabajos donde se emplean animales, ya que para auscultar en su interior del organismo, como lo señala Jacob (1999), se debe alterar la función o la estructura con el fin de observar los cambios en el funcionamiento y su impacto en el organismo, con lo cual se habrá destruido la estructura.

6. El desarrollo y empleo de diferentes medios, técnicas de observación y experimentos, permitieron descubrir el mundo que se despliega a nivel microscópico dentro de los organismos y establecer relaciones de este con la herencia biológica. Sin embargo, estos por si solos no podrían generar mayor información, puesto que requieren la mirada inquisidora del investigador, quien logra atravesar el mundo de lo visible hasta llegar al mundo de los posible. Esto ha llevado a la constitución de campos de investigación tan amplios y cambiantes, como el de la ingeniería genética.

7. Modificar genéticamente organismos, específicamente en lo referido a los seres humanos, no es una decisión que corresponda a otros. Este tipo de tecnologías implican un componente ético, con el que no se vean vulnerados los derechos que hemos adquirido y que como ciudadanos críticos debemos hacer valer.

De esta forma, encontramos que fortalecer en los estudiantes su acercamiento a las complejidades teóricas y experimentales, que han llevado a la herencia biológica a convertirse en un problema de estudio para el conocimiento biológico, les permiten entretejer sus construcciones y hacerlas significativas, al punto de

apropiarlas en su vida y en su pensamiento. En este sentido, reviste especial importancia la observación en el microscopio, las descripciones, las explicaciones, la interacción con el otro y las preguntas que de esta surgen, todo dentro del marco de la profundización de sus representaciones y la forma en que éstas se integran en su noción de organismo. De igual forma, se hace necesario el papel que juega el establecimiento de carácter para comparar individuos y poblaciones.

Por otro lado, en el caso de nosotros como maestros, es notorio que en lo que respecta a mejorar o cualificar las practicas de la enseñanza en problemas relativos a la biología y en aspectos relacionados con la genética, resulta significativa nuestra profundización teórica, ya que nos dota de un referente conceptual desde el cual podemos abordar las preguntas, las polémicas y las alternativas de resolución derivadas de su estudio. Esto excede la pálida idea que teníamos de enseñar genética, en correspondencia con los contenidos de los libros y planes de estudio estandarizados y asociados a unas cuantas acciones, que si bien pueden sumar conceptos al conocimiento de nuestros estudiantes, estos no serán significativos y en muchos casos, no generaran posiciones críticas que les permitan asumirse como ciudadanos de derecho. Por lo tanto, consideramos que cuando el maestro profundiza en las condiciones teóricas y experimentales que hacen de la herencia un problema de estudio para la biología, puede establecer elementos pedagógicos, teóricos, experimentales y didácticos que le permitirán diseñar propuestas de aula que le permitan hacer más significativas sus prácticas en torno a la enseñanza de la ciencia.

Así, hemos encontrado que los elementos desde los cuales concebimos la herencia como un problema de conocimiento en el aula, los podemos dividir en criterios teóricos y experimentales (que permiten pensar la constitución de la herencia como un problema de conocimiento biológico); y criterios pedagógicos y didácticos (que permiten al maestro orientar prácticas de enseñanza haciendo de la herencia un problema de conocimiento), los cuales describiremos a continuación.

1. Criterios teóricos y experimentales que permiten pensar la constitución de la herencia como un problema de conocimiento biológico

El fin de nuestro trabajo no es emular el campo histórico y teórico que llevó a la constitución de la herencia biológica como un campo del saber, sino abordar las discontinuidades, las preocupaciones y las emergencias que posibilitaron una nueva comprensión de los organismos. Es a partir de dichas discontinuidades, desde las cuales realizamos un ejercicio reflexivo que, puesto en el aula, nos permiten la problematización de la herencia biológica, generando una nueva visión de los objetos de estudio, de las tensiones que surgen y de cómo estas permiten plantear criterios para explicar las nuevas tecnologías, sus aplicaciones en el terreno biológico y los cambios culturales y sociales en los cuales estamos inmersos. Esto nos lleva a asumir la ciencia como una actividad de la cultura que está en continua remodelación, no es un producto ya terminado, sino que está en relación con una forma de representación del mundo.

a. Criterios Teóricos: Profundizar en la historicidad de la herencia como problema de conocimiento biológico nos permite abordar los cuestionamientos, las controversias y las emergencias desde las cuales surgen nuevos objetos de estudio que nos permiten hablar de lo celular, la reproducción, la evolución y la base material de la herencia como elementos claves para comprender la forma en que la información genética es transferida de padres a hijos. En el fondo de las discusiones se encuentran las dualidades entre la continuidad y la discontinuidad; la finalidad y el mecanismo; la necesidad y la contingencia y la estabilidad y la variación, que revelan ricos y variados matices sobre la comprensión de lo vivo. Todo ello contribuye a formar una comprensión más profunda de los problemas de la biología, donde las explicaciones migran de la episteme de la semejanza a la episteme de la representación y donde la interpretación del mundo adquiere un nuevo sentido.

b. Criterios Experimentales: Dichas condiciones cobran validez en un marco de referencia desde el cual se generan los elementos necesarios para dotar de sentido lo que se está observando; no basta con crear o modificar un instrumento o técnica si detrás de ello no hay una relación con la necesidad de conocer y ampliar la comprensión de lo que hasta ese momento era visible. Por eso, hacer énfasis en el avance en las técnicas de microscopia no constituye *per se* un elemento significativo en este campo, ya que se requiere de las condiciones teóricas arriba descritas para dar un sentido a lo que se observa. A partir de esta aclaración, podemos afirmar que el uso y perfeccionamiento de técnicas de microscopia y las técnicas para el tratamiento de muestras para su observación al microscopio (corte, tinción y fijación), darán cuenta no solamente de la constitución del organismo, también aclaran aspectos de su fisiología y cómo estos se relacionan con el problema de la materialidad de la herencia. Así mismo, la selección de caracteres (enmarcado en un sistema o método) y la tradición hibridadora, contribuirían la comprensión de los problemas de la herencia en el contexto de las poblaciones y la forma en la que se les puede dar un tratamiento estadístico.

2. Criterios pedagógicos y didácticos que permiten al maestro orientar sus prácticas de enseñanza en lo referente a la herencia biológica

Los criterios pedagógicos y didácticos permiten al maestro orientar las prácticas de enseñanza, reconociendo las singularidades en las que se desarrollan sus propuestas de clase y que van mucho más allá del simple rol de administrador del currículo, encargado de desarrollar contenidos. Estos criterios, enfocados en la perspectiva de problemas de conocimiento propuesta por Valencia, Méndez, Orozco & Jiménez (2003), reconocen el papel de los interrogantes, las formas concertadas de resolverlos y la comunicación, en la que no solamente se propende por la selección y análisis de información, sino por la construcción de sentido en cada una de las actividades.

a. Criterios Pedagógicos: Consideramos que el aula se constituye en un escenario en el que las subjetividades pueden aflorar, es decir, donde cobran vigencia los saberes de cada uno de los participantes y desde los cuales se pueden construir nuevas relaciones que permiten tanto a docentes como a estudiantes, la reconstrucción de su mirada del mundo, adquiriendo nuevas formas de representar la complejidad que encierra, para nuestro caso, las condiciones de corte teórico y experimental que permitieron a la herencia constituirse como un problema de interés biológico. Esto implica arriesgarse a construir sentido con los demás, cuestionándose continuamente por aquello que a priori puede parecer trivial, como el ¿por qué los hijos se parecen a los padres? pasando de la cotidianidad a la descripción de experiencias básicas para descubrir que, en cada paso que se da, con la confección de cada situación desencadenante, emergen nuevos conceptos que alteran nuestra comprensión de los organismos. Lo anterior, impone la necesidad de escudriñar en el interior del organismo, de cuestionar lo que se observa y artificializar los fenómenos para profundizar en su comprensión, entendiendo que esto es posible en la medida en que se genera una red de significaciones desde las cuales se puede problematizar lo que observa. En este contexto, cobran vigencia las preocupaciones por el sentido de las organizaciones vivientes, la constitución de los mismos, las regularidades y los vínculos que se pueden trazar entre las diferentes organismos, el papel de la reproducción para el mantenimiento de las poblaciones y su relación a escala celular y cómo estas pueden ser definidas desde la episteme de la representación.

b. Criterios Didácticos: reconocer el papel fundamental del proceder en el aula en relación con los criterios abordados anteriormente, le permite al docente apartarse de aquellas posturas en las que la clase se convierte en una serie de algoritmos más o menos flexibles, para dar paso a una serie de situaciones desencadenantes que reconocen en la socialización y en la reflexión, la posibilidad de complejizar la mirada y las explicaciones que surgen en las relaciones entre padres e hijos, en el contexto de la herencia biológica. En este sentido, el aula se

convierte en un escenario en el que la comunicación entre pares y docente estimulan el reconocimiento de sus saberes y desde los cuales se puede establecer una relación con el saber disciplinar. De esta forma, las actividades de socialización en las que el uso de la información, el trabajo en grupo, la motivación o el uso de la pregunta del estudiante, permiten complejizar estas relaciones y generar nuevos cuestionamientos. Especial interés cobra el trabajo experimental en el aula, ya que no se trata del "hacer por hacer" o " de comprobar la teoría" con un propósito descontextualizado, sino de generar condiciones teóricas desde las cuales la artificialización de lo vivo y su manipulación, pueden generar nuevas comprensiones sobre los organismos.

Por último, cuando los maestros profundizamos en los supuestos históricos, epistémicos, experimentales y disciplinares que han constituido la herencia como un problema de conocimiento para la biología, podemos generar criterios pedagógicos y didácticos desde los cuales se enriquecen nuestras propuestas, dotando de nuevos significados nuestras prácticas en enseñanza de las ciencias. Dichas propuestas reconocen las singularidades de nuestro contexto, los saberes de los estudiantes y contribuyen a que en el aula se formen ciudadanos críticos frente a los productos de las ciencias.

.

BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, A., MUELA, J. & QUIJANO, R. 2002. Herencia y genética: concepciones y conocimientos de los alumnos (1ª FASE). En: XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales Relación Secundaria Universidad". Ed. Elortegui, Medina, Fernández, Varela y Jarabo. pp. 200-206.

ABRIL, A. 2010. Influencia de la sociedad del conocimiento en la enseñanza de las ciencias experimentales. Un caso de estudio: la genética y la biología molecular. España: Revista de Antropología Experimental nº 10, 2010. Universidad de Jaén Recuperado de: http://revista.ujaen.es/huesped/rae/articulos2010/edu1001.pdf

ALBARRACÍN, T. 1983. La teoría celular. Madrid: Alianza Editorial. Pág. 11 – 187.

ANTOINE, J. 2004. Genoma y bioética: una visión holística de cómo vamos hacia el mundo feliz que nos prometen las biociencias. Acta Biosthica , 131 -141.

ATKINS, P. 2009. El dedo de Galileo: las diez grandes ideas de la ciencia. Madrid: Espasa. Pág.

AYUSO, G. & BANET, E. 1995. Introducción a la genética en la enseñanza de secundaria y bachillerato: 1. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. Enseñanza de las ciencias: 13 (2), 137-153.

AYUSO, G. & BANET, E. 2002. Alternativas a la Enseñanza de la Genética en Educación Secundaria. Enseñanza de las ciencias: 20 (1), 133-157.

BERMUDO, J. 1978. La expansión del paradigma mecanicista y el desarrollo desigual y combinado de las ciencias. Universidad de Barcelona: Revista Geo-Critica, Año III. Número: 15. Disponible en: http://www.ub.edu/geocrit/geo15.htm

BORCHES, E. 2011. Desenmascarar la metáfora de la máquina: el caso del corazón-bomba. Boletín Biológica (20), 30. Disponible en: http://www.boletinbiologica.com.ar/pdfs/N20/Borches(Aportes20).pdf.

CABALLERO, M. 2008. Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. Rev. Enseñanza de las ciencias, 26(2), 227–244. Disponible en: http://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v26n2p227.pdf

CASTAÑEDA, L. CASTAÑEDA, A. RODRÍGUEZ, R. 2009. De la Genética a la Genómica. Revista Fuente vol. 1, No. 1, Diciembre. Disponible en: http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/01-01/de_la_genetica_a_la_genomica.pdf

CASTRO, J. 2013. Conocimiento práctico, historia, filosofía y enseñanza de la biología: el caso de la herencia biológica. Bogotá: TEA. Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología. UPN. Nº 34. Pág.103 – 125.

CLAROS, M. 2015. La naturaleza química del DNA (hasta el primer tercio del siglo XX). Disponible en: http://www.encuentros.uma.es/encuentros86/histbioq5.htm

DROUIN, J. 1991. Mendel: faceta de jardín. En: SERRES, M. 1991. Historia de las ciencias. España: Catedra. Pág. 459 – 475.

FIGINI, E. & MICHELI, A. 2005. La Enseñanza de la Genética en el nivel medio y la educación polimodal: contenidos conceptuales en las actividades de los libros de texto. En: VERGEL, E. Modelo didáctico para facilitar el proceso de enseñanza aprendizaje de la herencia biológica a través de una herramienta interactiva multimedia. Disponible en

http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/vrac/documentos/Curricular_Documentos/Evento/Ponencias_6/verguel__elizabeth.pdf

FOUREZ, G. 1994. La alfabetización científica y tecnológica. Argentina: Ediciones Colihue. Pág. 17 – 37.

FOUCAULT, M. 1968. Las palabras y las cosas: una arqueología de las ciencias humanas. Argentina: Siglo XXI. 14a Edición. Pág. 7.
FOUCAULT, M. 1970. La arqueología del saber. México: Siglo XXI. Pág. 4 – 12.

FOUCAULT, M. 1968. Nietzsche, la genealogía, la historia. México: Siglo XXI. Pág. 76.

GARCÍA, M. & MAZZARELLA, C. 2011. Efecto de una intervención didáctica constructivista sobre el conocimiento y la resolución de problemas relacionados con Herencia Biológica en estudiantes de noveno grado. Revista de Investigación Nº 74 Vol. 35.

GATOR, G. 1992. Teaching genetics in the high school classroom. Teaching genetics: Recommendations and research preceedings of a national conference, pp. 20-30. En: ABRIL, A. M., MUELA, F. J. y QUIJANO, R. 2002. Herencia y genética: concepciones y conocimientos de los alumnos (1ª FASE). En “XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales Relación Secundaria Universidad”. Ed. Elortegui, Medina, Fernández, Varela y Jarabo. pp. 200-206.

GÓMEZ, R. 2010. De las nociones de paradigma, episteme y obstáculo epistemológico. Medellín: Revista Co-herencia. Vol. 7, No 12 Enero – Junio. Pág. 246.

GONZÁLEZ, J. 2001. Breve cronología de la genética. Ciencias, julio – septiembre, numero 063. Universidad Nacional Autónoma de México. Pág. 70 – 77.

GRIFFITHS, J. 2008. Genética. España: McGraw-Hill / Interamericana. Pág. 68.

IMBERNÓN, M. ALONSO, J. & ARANDIA, M. y otros. 2002. La investigación Educativa como herramienta de formación del profesorado. Reflexiones y experiencias de investigación educativa. España: Editorial Graó.

JACOB, F. 1982. El juego de lo posible. Barcelona: Grijalbo.

JACOB, F. 1998. El ratón, la mosca y el hombre. Barcelona: Grijalbo Mondaroni.

JACOB, F. 1999. La lógica de lo viviente; Una historia de lo viviente. Barcelona: Metatemas 59.

KOHLER, R. (1993). Drosophila: A Life in the Laboratory. Journal of the History of Biology 26 (2), 281-310. En: CASTRO, J. 2013. Conocimiento práctico, historia, filosofía y enseñanza de la biología: el caso de la herencia biológica. Bogotá: TEA. Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología. UPN. Nº 34. Pág.103 – 125.

KUHN, T. 1994. ¿Qué son las revoluciones científicas? Barcelona: Atalaya.

LESSA, E. 2009. Vigencia del Darwinismo. Gayana (Concepción), 73(Supl. 1), 73-84. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382009000300007&lng=es&tlng=es. 10.4067/S0717-65382009000300007

LOLAS, F., RODRÍGUEZ, E., & VALDEBENITO, C. (2004). El proyecto del genoma en la literatura biomédica Latinoamericana de cuatro países. Acta Bioethica, 167 - 180.

LÓPEZ, C. 1992. Human Heredity 1750-1870. The Construction of a Scientific Domain. Ph.D. Thesis. Londres: King's College London. En: CASTRO, J. 2013. Conocimiento práctico, historia, filosofía y enseñanza de la biología: el caso de la herencia biológica. Bogotá: TEA. Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología. UPN. Nº 34. Pág.103 – 125.

LÓPEZ, C. 2002. Las cosas naturales y las cosas no naturales; las fronteras de lo hereditario en el siglo XVIII. DIÁNOIA, Volumen XLVII, Número 49 (noviembre 2002): pp. 65–93.

MAINETTI, J. (2003). Bioética y genómica. Acta Bioethica (1), 39 -46.

MARTÍNEZ, V. 2013. Paradigmas de Investigación: Manual multimedia para el desarrollo de trabajos de investigación. Una visión desde la epistemología dialéctico crítica. Disponible en: http://www.pics.uson.mx/wp-content/uploads/2013/10/7_Paradigmas_de_investigacion_2013.pdf

MELO, L. 2013. De la polisemia de los conceptos. El concepto gen como caso particular. Bogotá: Bio-grafía, Vol. 6 - No.10. Pág. 105.

MENDEL, G. 1865. Experimentos sobre hibridación en plantas. Disponible en: http://bioinformatica.uab.cat/base/documents/genetica_gen/1360515%20-%20Traduccion%20de%20Mendel201448-1016.pdf

MERINO, C. 1995. Metodología cualitativa de la investigación psicosocial. España: UNAM-CISE.

MONOD, J. 1970. El azar y la necesidad (Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna). Ediciones Orbis S.A. Barcelona. Pág. 115.

MORENO, R. 2014. Desarrollar una estrategia didáctica constructivista a partir de los conceptos de gen y cromosoma que permitan una mejor comprensión de la

herencia biológica en el grado noveno del Seminario Menor de la Arquidiócesis de Medellín. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

NIETZSCHE, F. 1887. La genealogía de la moral. Biblioteca virtual universal. Disponible en: http://www.pensamientopenal.com.ar/system/files/2014/12/doctrina39065.pdf

OLIVA, O. 2013. La regulación del aprendizaje en alumnos de educación secundaria obligatoria y su relación con el nivel de destreza en la resolución de problemas de genética. Girona: IX Congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias. 9-12 de septiembre. Comunicación2564

OROZCO, Y. 2013. Aprender sobre herencia genética: Más que un cuadro de Punnett. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC Águas de Lindóia, SP – 10 a 14 de Novembro.

PIRO, O. 2012. Breve historia del ADN, su estructura y función. Argentina: Departamento de Física e Instituto IFLP (CONICET), FCE, UNLP, CC 67. Disponible en: http://descubriendo.fisica.unlp.edu.ar/descubriendo/images/9/91/Historia_del_ADN_por_Oscar_Piro.pdf

RESENDE, T. & KLAUTAU, M. 2011. A divulgação científica como estratégia de ensino dos principais conceitos básicos de genética. Memorias VIII ENPEC. En: OROZCO, Y. 2013. Aprender sobre herencia genética: Más que un cuadro de Punnett. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC Águas de Lindóia, SP – 10 a 14 de Novembro.

SCHWANDT, T. R. 2000, Three epistemological stances for cualitative inquiry. En: MARTÍNEZ, V. 2013. Manual multimedia para el desarrollo de trabajos de investigación. Una visión desde la epistemología dialéctico crítica.

SCHRÖDINGER, E. 1944. ¿Qué es la vida? Disponible en: http://campus.usal.es/~licesio/Biofisica/QEV.pdf

SEGURA. 1998. ¿Es posible pensar otra escuela?. Bogotá: Escuela Pedagógica Experimental. Planteamientos en Educación. Vol. 3 No. 1.

SMITH, M. 1988. Successful and unsuccessful problem solving in classical genetic pedigrees. Journal of Research in Science Teaching, 25 (6), 411-433. En: ÍÑIGUEZ, F & PUIGCERVER, M. 2013. Una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias: 10(3), 307-327

STURTEVANT, A. 1965. Una historia de la genética. En: Electronic Scholarly Publishing: Foundations of Classical Genetics. Pág. 6 – 47.

USAQUEN, W. 2009. El origen de las especies y su relación con el inicio de la actual teoría de la herencia.. Acta Biológica Colombiana, 14(suppl.1), 77-84. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttex&pid=s0120-548X200900040000&Ing=en&nrm=iso>.

VALENCIA, S., MÉNDEZ, O., OROZCO, J. & JIMÉNEZ, G. 2003. Los problemas de conocimiento: una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias. Bogotá: TEA. Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología. UPN. Nº 14. Pág. 109-120.

VERA, L. 2014. Las moléculas de la herencia biológica: de las proteínas al DNA … y vuelta. Universidad de Valencia. Disponible en: http://www.uv.es/ramcv/2014/119_VIII.XV_Dr_Franco.pdf

VISCHER, E. ZAMENHOF, S. & CHARGAFF, E. 1949 “Microbial Nucleic Acids: the Desoxypentose Nucleic Acid of Avian Tubercle Bacilli and Yeast”, J. Biol.

Chem. 177, 429. En: PIRO, O. 2012. Breve historia del ADN, su estructura y función. Argentina: Departamento de Física e Instituto IFLP (CONICET), FCE, UNLP, CC 67. Disponible en: http://descubriendo.fisica.unlp.edu.ar/descubriendo/images/9/91/Historia_del_ADN_por_Oscar_Piro.pdf

WATSON, J. 1968. La doble hélice. Gran Bretaña: Weidenfeld & Nicholson. Disponible en: https://cgrandola.files.wordpress.com/2008/04/jd-watson-la-doble-hc3a9lice.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. PRESENTACIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA DE AULA

En las siguientes tablas se presenta una descripción general de la propuesta de aula, estructurada en tres fases, cada una con sus respectivas guías. De igual forma, se hace una breve descripción de las actividades, el propósito de cada guía, los registros tomados y el tiempo aproximado de duración.

Tabla 3. Descripción de la fase uno con cada una de las guías que la componen, los registros que serán analizados para la sistematización y el tiempo aproximado que tomó la realización de cada una.

FASE 1. DEL TODO A LA PARTE Y DE LA PARTE AL TODO			
Duración: 7 horas			
ACTIVIDAD	**DESCRIPCIÓN**	**REGISTROS**	**TIEMPO**
Del germen a la célula	Video foro: documental “La célula: la química de la vida” (Fragmento 1) La observación de un fragmento de este documental de la BBC, será orientada por una serie de preguntas, que permitirán comprender la historia que enmarca el surgimiento del concepto célula y su papel en la explicación de procesos biológicos. Se enfocará hacia las preguntas ¿cómo la mirada de los investigadores llega a instalarse en un mundo tan micro? ¿cuál es el tipo de preocupaciones que lleva a la algunas personas a ubicar, determinar, descubrir y constituir la célula como entidad material que da cuenta de la continuidad de los organismos?	Video del desarrollo de la actividad. Respuesta a las preguntas de la guía.	2 hora
La vida a través del lente	A través de esta guía el estudiante recorrerá el camino llevado por Leeuwenhoek en el surgimiento del mundo microscópico. Se busca que se maraville con la vida que encontrará a través del lente. Se retomarán aspectos relatados en el fragmento del documental “La Célula: el reino oculto” visto previamente, relacionados con el proceso histórico dado en torno al mundo microscópico, el cual será enriquecido con un trabajo de laboratorio dividido en dos	Respuestas a las preguntas de la guía Informes de laboratorio. Conclusiones	5 horas

FASE 1. DEL TODO A LA PARTE Y DE LA PARTE AL TODO			
Duración: 7 horas			
ACTIVIDAD	**DESCRIPCIÓN**	**REGISTROS**	**TIEMPO**
	partes: Parte 1: Observación de diferentes estructuras con lupa y microscopio identificando diferentes escalas, con el fin de agudizar la capacidad de percepción y descripción en los estudiantes. Parte 2: Observación de Paramecios, algas de agua dulce, células epiteliales y glóbulos rojos con el fin de establecer comparaciones que los lleven a establecer a la célula como unidad de constitución de los seres vivos.		

Tabla 4. Descripción de la fase dos con cada una de las guías que la componen, los registros que serán analizados para la sistematización y el tiempo aproximado que tomará la realización de cada una.

FASE 2. UNO MAS UNO SON TRES			
Duración: 10 horas.			
ACTIVIDAD	**DESCRIPCIÓN**	**REGISTROS**	**TIEMPO**
Omnis célula ex célula	Observación del segundo segmento del documental "La célula: el reino oculto", el cual presenta el trabajo realizado por Brown, Schleiden y Schwann, y que lleva a conclusión de que todos los seres vivos estaban formados por células "donde había vida habían células"; y los trabajos de Remak y Virchow que llevan a establecer que "*omnis cellula ex cellula"* que se traduce "toda célula procede de otra célula". La secuencia histórica presentada en el documental orientará la práctica de laboratorio en la que se busca hacer la identificación del núcleo celular y de la división de la célula. Esta experiencia proporcionará los fundamentos para esbozar algunos elementos de la teoría celular.	Informes de laboratorio	4 horas
La historia vuelve a comenzar	A partir de la observación de diferentes videos sobre la embriogénesis de organismos como peces, aves y mamíferos, sumado a nuestras explicaciones, el estudiante deberá plasmar en cuadros, a través de dibujos, su comprensión sobre la afirmación "La célula es la unidad de constitución, origen y funcionalidad de los seres vivos". De esta forma se pretende	Registro de las respuestas y las conclusiones de los estudiantes.	2 hora

FASE 2. UNO MAS UNO SON TRES			
Duración: 10 horas.			
ACTIVIDAD	**DESCRIPCIÓN**	**REGISTROS**	**TIEMPO**
	identificar el grado de conceptualización alcanzado por los estudiantes hasta el momento, brindándonos elementos para fortalecer aspectos necesarios en la comprensión de la herencia biológica.		
Génesis	Video foro: Génesis (fragmento del documental). En este punto se hace necesario generar espacios de discusión que permitan establecer los elementos que se requieren para que un organismo pueda dar origen a otro. De esta forma se realizará la observación del fragmento del documental, a partir del cual se desarrollará una serie de preguntas que promuevan la discusión en el grupo en torno a la idea de que los seres vivos tienen una matemática propia en la que uno mas uno son tres. De forma magistral se realizará la diferenciación entre generación y reproducción; y se explicará el concepto de hibridación. A continuación, se desarrollará una actividad en la que los estudiantes deben realizar cruces hipotéticos entre individuos de diferentes especies, lo que nos permitirá abordar el concepto de especie.	Registros realizados en el desarrollo de las guías.	3 horas
Vida, Tinta y pluma	Realización de un escrito en relación con los acontecimientos que dan lugar a la formación de un organismo. Esto permitirá afianzar la idea de la reproducción como mecanismo de transmisión de características de padres a hijos.	Escritos realizados por los estudiantes.	1 hora

Tabla 5. Descripción de la fase tres con cada una de las guías que la componen, los registros que serán analizados para la sistematización y el tiempo aproximado que tomará la realización de cada una.

FASE 3. ¿POR QUÉ LOS HIJOS SE PARECEN A SUS PADRES?			
Duración: 13 horas.			
ACTIVIDAD	**DESCRIPCIÓN**	**REGISTROS**	**TIEMPO**

FASE 3. ¿POR QUÉ LOS HIJOS SE PARECEN A SUS PADRES?			
Duración: 13 horas.			
ACTIVIDAD	**DESCRIPCIÓN**	**REGISTROS**	**TIEMPO**
¿Los hijos se parecen a sus padres?	Se abordaran dos niveles: 1. A nivel de especie: relación de imágenes de padres e hijos de diferentes especies para ser agrupadas por su semejanza, presentando los argumentos que se emplearon para la agrupación de los mismos. 2. A nivel humano: relación de imágenes de padres e hijos entre diferentes grupos étnicos para ser agrupadas por su semejanza, explicando los criterios empleados para su agrupación. Observar las características de los padres o familiares cercanos en sus primeros años de vida a través de la comparación de fotos. Establecer explicaciones. Escoger una característica física presentada en varios integrantes de su familia, realizar su rastreo y plasmar sus resultados en un árbol genealógico. Con los elementos trabajados hasta el momento, el estudiante deberá generar explicaciones frente a su comprensión sobre lo que para él es la herencia biológica.	Desarrollo de las guías. Escritos de los estudiantes	3 horas
En el monasterio se forja la herencia	A partir de una breve descripción de los trabajos de Gregor Mendel, los estudiantes seleccionarán una especie de las planteadas en la guía para realizar un estudio hipotético de la herencia teniendo en cuenta algunas de sus características. Posteriormente se observa el video “Los diez experimentos que marcaron la historia” para que hagan un contraste entre la especie que han seleccionado y las plantas de *Pysum sativum* empleadas por el monje. Se resaltará el trabajo de Mendel en el campo de la hibridación y de la horticultura, y el por qué sus postulados fueron fundamentales para la constitución de la biología como una ciencia. Se pide a los estudiantes que a partir de una serie de imágenes identifiquen una característica y sus variantes. De esta forma se retoman las características y variantes que empleo Mendel y la forma como estas se manifiestan a nivel de fenotipo. Este trabajo	Registros de las respuestas a las preguntas del taller	3 horas

FASE 3. ¿POR QUÉ LOS HIJOS SE PARECEN A SUS PADRES?			
Duración: 13 horas.			
ACTIVIDAD	**DESCRIPCIÓN**	**REGISTROS**	**TIEMPO**
	permitirá identificar la materialización de la herencia, estableciendo que hay algo físico que se trasmite a través de las células sexuales, de los padres hacia los hijos; lo que Mendel denominaría factores, los cuales se pueden cuantificar, definiendo una condición predictiva sobre las siguientes generaciones.		
¿Qué se transmite de padres a hijos?	Se realizará una breve introducción en la que se narrará a los estudiantes como el trabajo de Mendel fue relegado por más de 30 años, mostrando las diferentes tensiones que pueden jugar en el campo de las ciencias. De igual forma, se resaltaran los trabajos de de Vries, Correns y Tschermak, quienes llegaron, de forma independiente, a las mismas conclusiones de Mendel, redescubriendo así su trabajo. Aludiendo al concepto de factor introducido por Mendel, en esta guía se aborda su materialidad y la forma en la que son heredados de padres a hijos. Video foro: fragmento del documental “La célula: la química de la vida”, en el que se abordan los trabajos de Miescher y Boveri en relación con la composición del núcleo y el papel de los cromosomas en la herencia biológica. Laboratorio: El fragmento del documental permitirá a los estudiantes guiarse en el trabajo de laboratorio, el cual busca la identificación de los cromosomas en procesos de mitosis y meiosis. Se plantearan a los estudiantes una serie de cuestionamiento sobre la posible relación entre los factores de Mendel y los cromosomas y características hereditarias propuestos por Bovieri. La guía finalizará con la observación del último fragmento del documental “La célula: la química de la vida”, con el fin de enfocar y explicar a los estudiantes la teoría cromosómica de la herencia propuesta a comienzos del siglo XX por Boveri y Sutton, ampliada por los trabajos de Johansen, Morgan y sus colaboradores. Además, se resaltaran los experimentos de Miescher, Griffith, Avery, Hershey y Chase, que llevaron a establecer al ADN como la molécula	Registros de las respuestas de los estudiantes en las guías	5 horas

FASE 3. ¿POR QUÉ LOS HIJOS SE PARECEN A SUS PADRES?			
Duración: 13 horas.			
ACTIVIDAD	**DESCRIPCIÓN**	**REGISTROS**	**TIEMPO**
	responsable de la herencia; y los trabajos de Franklin, Wilkins, Watson y Crick en la modelización de su estructura, permitiendo el surgimiento de una serie de estudios moleculares y tecnologías que abrieron el campo de la biología molecular y posteriormente, el de la ingeniería genética.		
Amalgama	Se desarrollará una plenaria en la que se pondrán en juego las construcciones realizadas por los estudiantes sobre la herencia biológica. Esta se encaminará sobre la posibilidad de hacer bebes a la carta y las implicaciones que la ingeniería genética tiene en la sociedad. Para ello se organizaran grupos de trabajo entregando a cada uno un artículo periodístico en el que se relacione la aplicación de una técnica de modificación para la obtención de hijos con particularidades deseadas. Para finalizar, se realizará un análisis sobre qué implicaciones tecnológicas se derivan de las aplicaciones de las teorías acerca de la herencia biológica y si en este caso tendría validez la pregunta ¿Por qué los hijos se parecen a los padres?	Video de la actividad. Registro por parte del docente. Escritos de los estudiantes.	2 horas.

ANEXO 2. FASES Y GUÍAS QUE INTEGRAN LA PROPUESTA DE AULA

INSTITUCIÓN EDUCATIVA DEPARTAMENTAL GONZALO JIMÉNEZ DE QUESADA
ÁREA DE CIENCIAS NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL - GRADO OCTAVO
FASE 1.DEL TODO A LA PARTE Y DE LA PARTE AL TODO

NOMBRE _____ FECHA: _____

GUÍA 1. DEL GERMEN A LA CÉLULA

A través de esta guía podrás retomar tus conocimientos en relación con la célula y la historia que enmarca su surgimiento como concepto.

ACTIVIDAD INICIAL

En nuestro planeta existen variedad de organismos que se caracterizan por adaptarse a los habitas en los cuales viven. Esto los lleva a tener tamaños, formas, colores, entre otros, muy particulares. A continuación, deberás dibujar en el recuadro de la izquierda el ser vivo más pequeño que conozcas y en el de la derecha el más grande. Debajo de cada uno escribe su nombre y una breve descripción. Puedes tomar como referencia el ejemplo con el ser humano.

Ser humano

Con respecto al ser vivo que escogiste, anota dentro del cuadro la información que se te solicita. En caso de que consideres que el ser vivo no posee lo solicitado, escríbelo dentro del recuadro justificando tu respuesta.

Sistemas	**Sistemas** Circulatorio Nervioso Muscular Óseo	**Sistemas**
Órgano	**Órgano** Corazón Cerebro Musculo Hueso	**Órgano**
Tejido	**Tejido** Cardiaco Neuronal Tejido muscular Tejido óseo	**Tejido**
Célula	**Célula** Cardiaca Neurona Miocito Osteocito	**Célula**

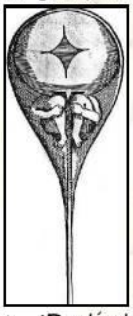
ACTIVIDAD FINAL

Responde las siguientes preguntas teniendo en cuenta los análisis realizados a partir del primer fragmento del documental "La célula: el reino oculto" producido por la BBC de Londres.

1. ¿Por qué se afirma que el microscopio de Leeuwenhoek transformó nuestra forma de ver el mundo?_____

2. El descubrimiento de los animáculos por Leeuwenhoek revolucionó la ciencia. Justifica esta afirmación. _____

3. Interpreta y describe la imagen de acuerdo con lo que comprendiste del video



_____

4. ¿De dónde proviene el termino célula y cuál fue su importancia a nivel histórico?_____

5. En los recuadros encuentras la definición de célula dada por Hooke y una definición actual.

Robert Hooke (1665)	**(2015)**
Célula: *Pequeña cavidad poliédrica que recuerda a la celdilla de un panal.*	Célula: *Se define como la unidad de constitución, origen y función de todo ser vivo. De hecho, la célula es el elemento de menor tamaño que puede considerarse vivo.*

¿Por qué crees que la definición ha cambiado a través de la historia?_____

GUÍA 2. LO VIVO A TRAVÉS DEL LENTE

A través de esta guía podrás recorrer el camino transitado por Leeuwenhoek en el surgimiento del mundo microscópico. Como él, podrás maravillarte con la vida que encontrarás a través del lente.

Descripción: Escucha atentamente las instrucciones de tus profesores frente al trabajo de laboratorio que se va a realizar. Lee cada uno de los pasos propuestos a continuación y realízalos en el orden indicado. Si tienes inquietudes consúltalas con tus docentes. Recuerda prestar atención a todas las indicaciones que se den durante el proceso.

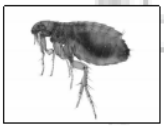
1. ¿CÓMO VER A TRAVÉS DEL LENTE?

Para poder realizar tus observaciones a través del microscopio, primero debes afinar tu visión y comprender la forma en la que funciona dicho instrumento.

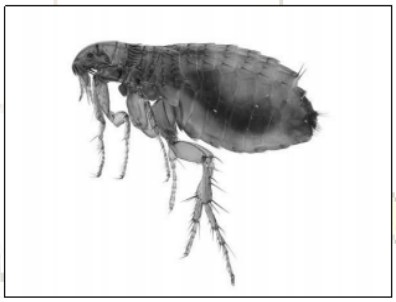
1. La lupa o el microscopio son instrumentos que nos ayudan a observar con mayor detalle los objetos. Dependiendo de las veces que aumenta el tamaño del objeto, pueden encontrarse lentes 2X es decir, que aumentan dos veces el tamaño del objeto observado. Una lente 4X lo aumenta cuatro veces, y así sucesivamente. De acuerdo con esto, si tenemos un lápiz de 3 cm, dibuja cómo se vería en el tamaño real, cómo con un aumento de 2X y cómo con un aumento de 4X.

2. A continuación, vas a encontrar un ejemplo de cómo se puede ver una pulga en tamaño normal, aumentada a 4X (vista a través de una lupa) y a 10X (vista a través de un estereoscopio).

Visión normal
Pulga tamaño normal (5mm)

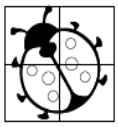


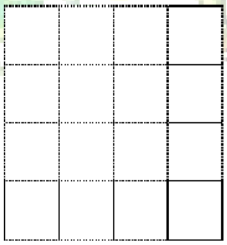
Lupa (4X)
Pulga ampliada cuatro veces (5mm x 4= 20mm)



Estereoscopio (10X)
Pulga ampliada diez veces (5mm x 10= 50mm)

De acuerdo con esta información, amplía el siguiente escarabajo a 2X, tomando como referente la escala de cuadros.





2. RECORRIENDO EL CAMINO DE LEEUWENHOEK

1. La primera observación que realizaremos es la de una gota de agua. Para ello, debes tomar una gota de agua, con ayuda de un gotero, de una muestra donde días anteriores se ha conservado cilantro. Depositala en el portaobjetos y observarla al microscopio. Describe detalladamente lo que observas_____

2. Realiza los dibujos con respecto a lo que observas en el objetivo 4x, 10x y 40x.

4x 10x 40x

3. La segunda observación que realizaremos es la de la lama verde que encontramos adherida en las paredes de nuestros tanques de agua o en algunos charcos. Toma una muy pequeña muestra de esta lama, depositala en el portaobjetos, agrégale una gota de agua, cúbrela con el cubreobjetos y observarla al microscopio. Describe detalladamente lo que observas_____

4. Realiza los dibujos con respecto a lo que observas en el objetivo 4x, 10x y 40x.

4x 10x 40x

5. En un portaobjetos coloca una gota de solución salina isotónica a un extremo. Con un bajalenguas frota suavemente la superficie interna de tu mejilla. Introduce el extremo del bajalenguas en la gota de solución salina y mézclalo, extiende la muestra. Acércala al calor lentamente hasta que se seque, esto permitirá que se fije. Deja reposar a temperatura ambiente. Agrégale una gota de azul de metileno y deja actuar por unos segundos. Lava suavemente con agua y deja secar a temperatura ambiente. Lleva la placa al microscopio. Describe detalladamente lo que observas_____

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

6. Realiza los dibujos con respecto a lo que observas en el objetivo 4x, 10x y 40x.

4x 10x 40x

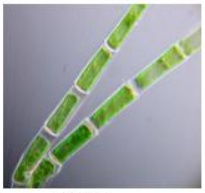
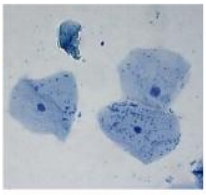
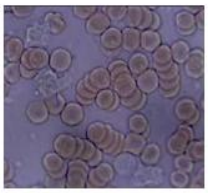
7. Con la ayuda de una lanceta, y con la desinfección previa, tus docentes obtendrán una gota de sangre de uno de ellos. Deposítala en el portaobjetos y con cuidado, pon el cubreobjetos. Recuerda que estás trabajando con fluidos corporales, por lo tanto es necesario que lo hagas con guantes y las debidas precauciones. Llévala al microscopio. Describe detalladamente lo que observas_____

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

8. Realiza los dibujos con respecto a lo que observas en el objetivo 4x, 10x y 40x.

4x 10x 40x

9. Completa el siguiente cuadro estableciendo tanto las similitudes como diferencias que puedas evidenciar entre todas las observaciones que realizaste anteriormente. Puedes apoyar tus argumentos con las microfotografías.

OBSERVACIÓN	Paramecio  Algas  Epitelio de la boca  Glóbulos rojos
SIMILITUDES	
DIFERENCIAS	

INSTITUCIÓN EDUCATIVA DEPARTAMENTAL GONZALO JIMÉNEZ DE QUESADA
ÁREA DE CIENCIAS NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL - GRADO OCTAVO
FASE 2. UNO MÁS UNO SON TRES

NOMBRE _____ FECHA: _____

GUÍA 1. *OMNIS CELULLA EX CELULLA*

Hemos visto hasta el momento algunos aspectos relacionados con la historia alrededor de la célula. Ahora, intentaremos comprender la célula como unidad de constitución, función y origen de todo ser vivo.

1. Como vimos en el segundo fragmento del documental "La célula: el reino oculto", Robert Brown en 1831 descubrió un bulto solido y oscuro en medio de todas las células que observó, al cual denominó núcleo. Esta fue la primera clave que condujo a Schleiden y Schwann en 1837, a la conclusión de que todos los seres vivos estaban formados por células "donde había vida habían células". Intentaremos identificar de forma práctica esta estructura, Ten en cuenta que para poder realizar estas observaciones se debe manipular los tejidos con el fin de hacer visibles las estructuras, en este proceso, los tintes interaccionan con las estructuras celulares perdiendo en algunos casos las funciones que les competen. Para Toma un pequeño trozo de epidermis de cebolla, ubícalo en el porta objetos agregándole agua, luego retira su exceso, agrega una gota de azul de metileno en la muestra durante 5 minutos, luego retira el exceso del pigmento, pon encima el cubre objetos y observarla al microscopio. Describe detalladamente lo que observas_____

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

2. Realiza los dibujos con respecto a lo que observas en el objetivo 4x, 10x y 40x, en dos diferentes puntos de la placa.

Primera observación

4x 10x 40x

Segunda observación

40x 100x 400x

3. ¿Qué similitudes encuentras entre las observaciones realizadas con las células del epitelio del interior de tu boca y las de epidermis de cebolla? Justifica tu respuesta. _____

_____

_____

_____

_____

4. Si bien los postulados de Schwann y Schleiden permitieron comprender cómo funcionaban e interactuaban las células, su teoría aun se enmarcaba en la generación espontánea, la cual afirma que dichas estructuras surgían a partir de cristales y humores orgánicos. Fue Remak (1853) quien se interesó por comprender cómo se originaban nuevas células, a partir de la observación del desarrollo embrionario de pollos y ranas, encontrando lo que él llamo células en división: a partir de una célula se originan dos, de dos células, cuatro, de cuatro células, ocho y así sucesivamente hasta la formación del organismo. Estos postulados fueron recogidos por Virchow afirmando en latín "*omnis celulla ex celulla*" que se traduce "*toda célula procede de otra célula*". A continuación, tendrás la oportunidad de ver células en división. Para ello, corta con tijeras el extremo de varias raicillas de cebolla cabezona (que has preparado previamente), procurando que su longitud sea de unos 2 a 3 mm. Lava los cortes con agua destilada por 30 segundos toma uno y llévalo al portaobjetos y pon encima el cubreobjetos, colocando un trozo de papel toalla sobre él, presiona fuerte y cuidadosamente por medio de un borrador de lápiz (esta técnica se llama "extendido por aplastamiento" o "squach"). Recuerda que mientras esté más aplastado, las células se separarán más unas de las otras y podrán observarse más fácilmente. Observa al microscopio y describe detalladamente lo que observas _____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

5. Realiza los dibujos con respecto a lo que observas en el objetivo 4x, 10x y 40x.

Primera observación

4x 10x 40x

Segunda observación

GUÍA 2. LA HISTORIA VUELVE A COMENZAR

Cuando se afirma que "La célula es la unidad de constitución, origen y funcionalidad de los seres vivos" ¿a qué se está haciendo referencia?

Para responder esta pregunta te puedes apoyar de los videos observados sobre la embriogénesis de diferentes organismos y de las explicaciones de tus profesores, de tal forma que puedas plasmar en los siguientes cuadros, tanto de forma escrita como gráfica, tu comprensión en relación a cada uno de estos tres aspectos.

Unidad de constitución:	Dibujo:
Unidad de origen:	**Dibujo**
Unidad de función:	**Dibujo**

GUÍA 3. GÉNESIS

En este punto de nuestro recorrido, se hace necesario generar espacios de discusión que nos permitan establecer los elementos que se requieren para que un organismo pueda dar origen a otro.

Actividad 1.

A partir del fragmento del documental Génesis, proponemos una serie de preguntas que te permitirán reconocer algunos elementos que se requieren para que un organismo pueda dar origen a otro.

1. En matemáticas la suma de uno mas uno da como resultado dos, lo que implica la agrupación de dos entidades diferenciables e individuales. Sin embargo, cuando se afirma en el video que uno mas uno es igual a tres, se hace referencia a un proceso que no solo suma las partes. Explica con tus palabras a que proceso se hace referencia y como comprendes esta afirmación. _____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

2. ¿Cuáles fueron los tres aspectos del documental que más llamaron tu atención y por qué? _____

1). _____

_____

_____

_____

2). _____

_____

_____

_____

_____

3). _____

_____

_____

_____

_____

_____

Actividad 2.

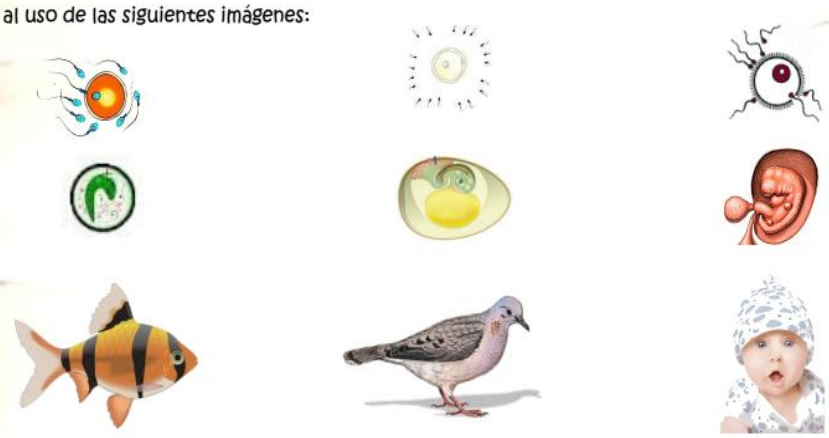
1. De acuerdo con la explicación dada por tus profesores, indica qué hace que cada una de las siguientes imágenes sean de dos especies diferentes.

2. De acuerdo con el concepto de hibridación abordado en clase, dibuja el individuo qué se esperaría de los siguientes apareamientos. Dale un nombre al nuevo organismo, describe sus características y viabilidad reproductiva.

GUÍA 3. VIDA, TINTA Y PLUMA

Las observaciones y discusiones que se han realizado hasta el momento, te han dado elementos que te permitirán en clase realizar un escrito en relación con los acontecimientos que dan lugar a la formación de un organismo.

Para hacer el escrito ten en cuenta las guías, los videos observados y las explicaciones de tus profesores, sumado al uso de las siguientes imágenes:



Menciona que cosas hay en común entre los tres organismos. Posteriormente selecciona uno de ellos y describe detalladamente cómo se formó, desde su origen hasta llegar a su nacimiento_____

INSTITUCIÓN EDUCATIVA DEPARTAMENTAL GONZALO JIMÉNEZ DE QUESADA
ÁREA DE CIENCIAS NATURALES Y EDUCACIÓN AMBIENTAL - GRADO OCTAVO
FASE 3. ¿POR QUÉ LOS HIJOS SE PARECEN A SUS PADRES?

NOMBRE _____ FECHA: _____

GUÍA 1. *LOS HIJOS SE PARECEN A SUS PADRES*

En esta guía te proponemos algunas actividades que te ayudarán a comprender la herencia biológica.

1. Observa atentamente las imágenes que te presentamos. Relaciónalas con una línea teniendo en cuenta el vínculo de padres a hijos según creas conveniente y escribe 3 razones que te llevaron a tu respuesta.

Razones que justifican tu elección:

1. _____
_____
_____

2. _____
_____
_____

3. _____
_____
_____
_____

2. A continuación te entregaremos las imágenes de tres niños. Relaciónalas con la familia que consideres pertinente y pégala a su lado. Escribe 3 razones que te llevaron a tu respuesta.

1. _____

2. _____

3. _____

a. _____

b. _____

c. _____

a. _____

b. _____

c. _____

3. Observa las fotos de tus padres o familiares cercanos y compáralas con una foto tuya. Escribe en el cuadro las semejanzas y diferencias que puedes establecer, con respecto a los criterios que hayas escogido (color de ojos, color del cabello, color de la piel, presencia de lunares, entre otros).

TIPO DE PARENTESCO:	CRITERIO	SEMEJANZAS	DIFERENCIAS

4. Escoge una característica física que presentan varios miembros de tu familia (un lunar, una mancha, color de ojos, textura del cabello, color de la piel, entre otros) y realiza su rastreo. Plasma tus resultados a través de un árbol genealógico, dibújalo en el siguiente recuadro

5. Las actividades realizadas hasta el momento están relacionadas con la herencia biológica. Es decir, con el campo de conocimiento que describe no solo la forma, sino aquello que se transmite de generación en generación y que permite la permanencia de las especies en el tiempo, así como su variación. Este campo ha emergido en el seno de profundos debates en emergentes comunidades como la de fisiólogos, historiadores naturales e hibridadores. Con lo visto hasta el momento, ¿cómo podrías explicar este proceso?

GUÍA 2. EN EL MONASTERIO SE FORJA LA HERENCIA

¿Qué se trasmite de padre y madre al hijo? ¿Qué mecanismos gobiernan este proceso? ¿Por qué una pareja de gatos siempre tiene hijos gatos y no perros? o ¿por qué te pareces a tus padres o a tus familiares cercanos? En un mismo sentido estas preguntas también inquietaron a grandes pensadores y académicos, a hábiles conocedores de saberes prácticos como los hibridadores (en especial a los horticultores). A través de esta guía conocerás a uno de ellos, Gregor Mendel, junto con su trabajo.

GREGOR MENDEL[1]

Gregor Mendel

Durante el siglo XIX las exigencias económicas obligaron al incremento de las cosechas y los rebaños y su adaptación a las condiciones locales de clima, temperatura y recursos. Por ello, era preciso aumentar el rendimiento no solo elevando el número de animales y plantas por hectárea, sino mejorando la calidad del género. Las experiencias prácticas se llevaban a cabo en las huertas y los pastos, en las colmenas y los corrales. Una vez realizados los cruzamientos, se examinaban algunos individuos de la descendencia para hacer una descripción lo más completa posible de ello, sin omitir ningún detalle. La mayoría de caracteres considerados no se prestaba a una discriminación neta, sino que constituían matices de una serie casi infinita de intermediarios. De hecho, cuando más se fundían en el híbrido los caracteres de los progenitores, más se ajustaba el resultado a la idea que se tenía de la herencia. Se observaba que los caracteres reaparecían a lo largo de las generaciones. Se constataba la desaparición de alguno de ellos durante un tiempo y su reaparición posterior.

Estas necesidades económicas llamaron la atención de Gregor Mendel (1822 – 1884). Un monje que poseía para la realización de sus investigaciones dos condiciones: por un lado conocía el Saber práctico de los hibridadores-horticultores y por el otro es cercano al saber Científico. Él escribió un artículo denominado "Experimentos en la Hibridación de las Plantas" en 1865 que publicó en una revista local. En este artículo se puede visualizar la manera en que concibe la experimentación y selección del material de estudio, el manejo de grandes poblaciones y el uso de símbolos para establecer relaciones entre los experimentos y la teoría.

Gregor Mendel es su trabajo experimental

[1] Adaptado de Jacob, F. (1999). *La lógica de lo viviente; Una historia de lo viviente.* Barcelona: Metatemas 59.

1. A Continuación te presentamos una serie de organismos con la descripción de sus principales características. Selecciona de estos, el que te permita realizar un experimento para estudiar los mecanismos de la herencia, de acuerdo con sus características.

***Solanum tuberosum* (papa):**

Reproducción asexual por medio de tubérculos
Cada planta puede generar aprox. 20 tubérculos dependiendo de la variedad. Cada tubérculo puede formar un individuo en un periodo de 4 meses. También posee reproducción sexual por medio de una estructura similar a un tomate pero esta es más demorada.

Canis lupus familiaris (perro):

Reproducción sexual.
En los perros domésticos, la madurez sexual comienza a producirse a la edad de entre seis y doce meses tanto en los machos como en las hembras,
Las perras dan a luz 63 días aprox. después de ser fertilizadas. Una camada promedio se compone de alrededor de seis cachorros.

***Megaptera novaeangliae* (Ballena jorobada):**

Los adultos tienen una longitud de 12 a 16 m y un peso aproximado de 36 000 kg.
Las hembras paren generalmente cada dos o tres años. La gestación dura once meses. Es raro, pero ciertas hembras pueden reproducirse dos años seguidos. El ballenato mide al nacimiento de cuatro a cuatro metros y medio y pesa aproximadamente 700kilos. Es amamantado por su madre durante un año.

Pisum sativum:

Las semillas (guisantes) se encuentran en vainas de entre 5 a 10 cm de largo que contienen entre 4 y 10 unidades. Cada semilla puede generar un individuo en un periodo corto de tiempo (meses). Su cultivo es ampliamente difundido.

Anastrepha fraterculus

El ciclo de vida de las moscas de la fruta se inicia cuando las hembras adultas ovipositan una gran cantidad de huevos (2 a 7 días en verano y de 20 a 30 días en invierno), luego emergen las larvas (gusanos) (6 A 11 días), en estado de pupa dura de (9 a 15 días). En estado adulto puede durar 8 días.

Cattleya trianae (La flor de mayo o lirio de mayo)

Flor Nacional de Colombia (1936).
Reproducción generalmente vegetativa. Se toma una planta con varias hojas y luego se divide en porciones. Para que florezca se necesitan en promedio 4 años.
Presenta una variedad enorme de formas y colores. Desde el blanco puro y luego una gama de semibalbas, rosa claro, hasta colores muy oscuros y con manchas en los pétalos.

a. ¿Cuál fue la especie que seleccionaste?

_____

b. ¿Qué requerimientos tuviste en cuenta para seleccionar esta especie? Menciona y describe tres de ellos.

1). _____

_____

2). _____

_____

3). _____

_____

2. Teniendo en cuenta el video "Los diez experimentos que marcaron la historia" ¿Cuáles fueron las razones que llevaron a Mendel a escoger las plantas del genero *Pisum* , conocida comúnmente como arverja, para realizar sus investigaciones?

1). _____

_____

_____

2). _____

_____

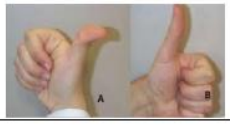
_____

3). _____

_____

_____

3. A continuación describe la característica que se pretende comparar en cada una de las imágenes, con sus variantes:



Característica comparada: _____	Característica comparada: _____	Característica comparada: _____	Característica comparada: _____
Variante 1: _____	Variante 1: _____	Variante 1: _____	Variante 1: _____
Variante 2: _____	Variante 2: _____	Variante 2: _____	Variante 2: _____

Los caracteres que Mendel seleccionó para sus experimentos se presentan a continuación:

	Rasgo Dominante	Rasgo Recesivo
Forma de la semilla	lisa	arrugada
Color de la semilla	amarilla	verde
Forma de la vaina	hinchada	contraída
Color de la vaina	verde	amarilla
Color de la flor	púrpura	blanca
Ubicación de la flor	en las uniones de las hojas	en las puntas de las ramas
Tamaño de la planta	alta (1.8 a 2 m)	enana (0.2 a 0.4 m)

A continuación te presentamos dos variedades de *Pysum* teniendo en cuenta un solo carácter, el color de la flor.

Variedad seleccionada de arveja

Parentales (P1) de la variedad seleccionada

Variedad seleccionada de arveja

Parentales (P2) de la variedad seleccionada

Descendentes del cruce anterior (F1)

Se autopolinización las plantas resultantes del cruce

Descendentes de autopolinización (F2)

4. Tomando en cuenta el color de las flores del ejemplo anterior y el video observado, explica las diferencias entre caracteres dominantes y recesivos.

_____
_____
_____
_____
_____

5. A partir del video y la explicación de tus profesores, describe la primera ley de Mendel tomando como ejemplo uno de los siete caracteres analizados por él_____

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

6. Teniendo en cuenta el video y la explicación de tus profesores, describe la segunda ley de Mendel tomando como ejemplo uno de los siete caracteres analizados por él_____

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

GUÍA 3. ¿QUÉ SE TRANSMITE DE PADRES A HIJOS?

Aludiendo al concepto de factor introducido por Mendel, en esta guía abordaremos la materialidad de dichos factores y la forma en la que son heredados de padres a hijos.

1. Como vimos en el primer fragmento del documental "La célula: la química de la vida", a partir del experimento realizado hace mas de 100 años con la esponja de mar, surgen en los científicos una serie de preguntas muy importantes ¿cómo saben las células que hacer? ¿qué ocurre dentro de las células? ¿cómo fabrican esas estructuras tan diminutas organismos vivos? Para llegar a las respuestas, el primer paso fue ampliar los estudios sobre el núcleo. En 1868 Friedrich Miescher estudio su composición química y encontró una molécula que estaba compuesta por hidrogeno, carbono, oxigeno y nitrógeno, como en todos los seres vivos, pero además presentaba fosforo, lo que la hacía muy diferente. A esta sustancia, por estar solo en el núcleo, la llamó nucleina. En la actualidad la conocemos como ADN.

En 1888 Theodor Boveri, observando cigotos de peces, encontró la presencia de unas estructuras como bastones que aparecían en el momento de la división, y que se despegaban dirigiéndose hacia los polos. Luego, el núcleo se dividía en dos, al igual que la célula. Los científicos llamaron a los batones cromosomas, es decir cuerpos coloreados. Para que puedas realizar estas observaciones, toma las raíces de cebolla, corta las puntas y viértelas en agua destilada. Después, coloca las raíces en una caja de Petri que contenga unos 3mL de HCl 1% por 7-8 min. Pasa los cortes de nuevo a agua destilada y déjalos 30 segundos para enjuagarlos. Coloca el tejido sobre un portaobjetos e inmediatamente agrega dos gotas de aceto-orceína sobre éste. Llévalo al mechero y calienta la muestra suavemente por 1 minuto, evitando que el colorante hierva o se seque. Realiza el squach. Observa al microscopio y describe detalladamente _____

2. Realiza los dibujos con respecto a lo que observas en el objetivo 4x, 10x y 40x. Intenta identificar varias fases de división celular, para lo cual debes desplazar la muestra lentamente, moviendo el platino. Escribe los nombres de las estructuras que observas.

4x 10x 40x

4x 10x 40x

4x 10x 40x

3. Toma los botones florales de lirio, los cuales están todavía en un estado de desarrollo inicial, antes de que se llegue a abrir la flor. Ábrelos, observa las estructuras que lo componen, dibújalas e identifícalas (anteras, ovario, estigma, pistilo, polen, etc).

4. Separa las anteras y ponlas en una caja de petri. Realiza el procedimiento que se llevó a cabo con las raíces de cebolla. Observa al microscopio y describe detalladamente, anotando el nombre de las estructuras que observas _____

5. Realiza los dibujos con respecto a lo que observas en el objetivo 4x, 10x y 40x. Intenta identificar varias fases de división celular, para lo cual debes desplazar la muestra lentamente, moviendo el platino.

4x	10x	40x

5. De acuerdo con las observaciones realizadas por Bovieri, un embrión solo podía desarrollarse si tenía un juego completo de cromosomas en cada célula, por lo tanto cada vez que una célula se dividía, tenía que formarse un nuevo conjunto idéntico de cromosomas, cualquier exceso o defecto y el embrión moriría. Esto indicaba que la información contenida en los cromosomas era esencial para la vida. Concluyo que los cromosomas que daban origen a una nueva vida, procedían del espermatozoide y del ovulo, por lo que le surgió la siguiente pregunta: ¿serían los cromosomas la vía por la que las características de los organismos se transmitían al crearse una nueva vida?. Responde de forma argumentada esta pregunta tomando en cuenta lo trabajado en guías anteriores y tus observaciones en laboratorio _____

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

6. ¿Crees que existe alguna relación entre los factores descritos por Mendel y los cromosomas encontrados por Bovieri? Justifica tu respuesta. _____

7. Realiza un dibujo en el que expliques de forma clara tu comprensión frente a lo que Bovieri identificó como **características hereditarias** y que se trasmitían a través de los cromosomas.

GUÍA 4. Amalgama

Los elementos abordados en el marco de nuestro estudio de la Herencia Biológica confluyen ahora en el análisis de artículos que plantean la aplicación de nuevas técnicas y serios retos a la humanidad.

La pregunta inicial ¿Por qué los hijos se parecen a los padres? nos ha conducido por diversas sendas abordando los interrogantes que han acompañado a científicas y científicos en diferentes épocas. Al recorrer estos caminos nos han surgido múltiples inquietudes y más cuando en diferentes medios afloran noticias sobre adelantos en las técnicas para la manipulación de material hereditario. Es por esto que te proponemos la realización de una plenaria, en la cual tendrás la oportunidad de exponer tu opinión frente a dichos adelantos. Para argumentar tus explicaciones, deberás tomar en cuenta lo trabajado hasta el momento en las diferentes guías y lo observado en el segundo fragmento del documental "La célula: la química de la vida", sumado a las explicaciones de tus profesores sobre la teoría cromosómica, los genes y el ADN.

Recuerda que la discusión en plenaria busca que expreses tus criterios frente a un problema planteado y ante el resto del grupo de compañeros. Por tal motivo conformarás equipos para promover la exposición del consenso al que lleguen y el intercambio de argumentos, inquietudes y acuerdos con otros equipos.

PRIMERA ACTIVIDAD

1. Conforma un equipo de tres estudiantes para el análisis y discusión de un artículo que te proporcionaran tus docentes.
2. Lean el artículo de forma compresiva e interpretativa.
3. Resuelvan las siguientes preguntas:

a) ¿Cuál es el título del artículo?

_____

_____

b) ¿Cuál es la idea central del artículo?

_____

_____

_____

_____

_____

_____

c) Enumera los principales argumentos que plantea el artículo

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Download from
Dreamstime.com

Menciona las ventajas de las técnicas o procedimientos descritos en el artículo

d) Menciona las objeciones o desventajas que se plantean a las técnicas o procedimientos descritos en el artículo.

4. Describan las conclusiones a las que llegó el grupo a partir de la lectura del artículo

5. ¿Cuál es la opinión del equipo frente al artículo?

6. Compartan en el espacio dado por sus docentes, sus apreciaciones y postura frente al artículo que les correspondió leer.

Download from
Dreamstime.com

SEGUNDA ACTIVIDAD

Hasta el momento, el centro de nuestro análisis sobre la Herencia Biológica era la pregunta ¿Por qué los hijos se parecen a los padres? En el marco de la reproducción y selección de variedades en diferentes niveles, acudimos al concepto de especie y a los trabajos de Gregor Mendel, para explicar qué se transmite de generación en generación. Pero al revisar artículos de difusión científica, encontramos que al parecer ésta cuestión en la actualidad se reorienta a ¿cómo hacer para que los hijos no se parezcan a los padres? bien sea con el propósito de evitar la transmisión de enfermedades genéticas o por simple vanidad. De esta forma, al tiempo que se iba completando el conocimiento del fenómeno hereditario, se iban planteando una serie de preguntas sobre las aplicaciones tecnológicas de este conocimiento,

A partir de la Plenaria realizada y con el apoyo de los argumentos que has tenido la oportunidad de escuchar, responde las siguientes preguntas:

1. ¿Estás de acuerdo con la manipulación genética en animales y plantas? Justifica tu respuesta.

_____
_____
_____
_____
_____

2. Cuando se habla de la posibilidad de hacer "bebes a la carta" ¿a qué se hace alusión?

_____
_____
_____
_____
_____

3. ¿Puede admitirse este intento de erradicación de cualquier mínimo defecto genético eliminando al mismo ser humano?

_____
_____
_____
_____
_____

4. ¿Dónde comienza y dónde acaba este proceso de eliminación de la vida humana?

_____
_____
_____
_____
_____

5. ¿cuál es tu posición frente al perfeccionamiento genético en humanos? Justifica tu respuesta.

_____
_____
_____
_____
_____
_____

Download from
Dreamstime.com

6. ¿Qué criterios deben guiar la manipulación genética en humanos?

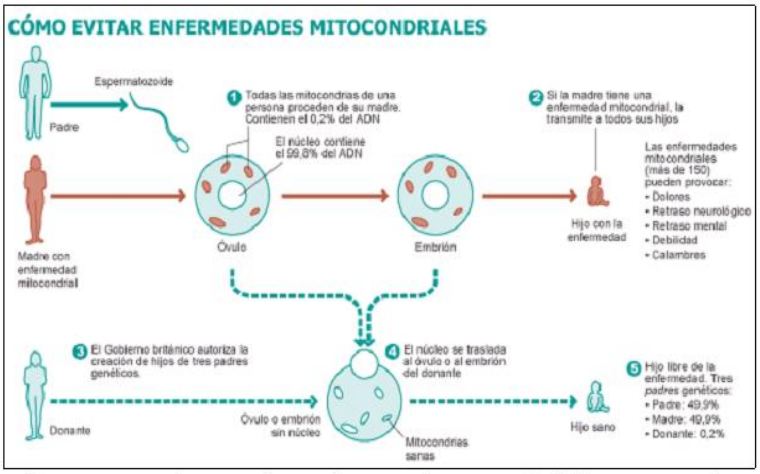
7. De acuerdo con el artículo sexto de la declaración universal sobre el genoma y los derechos humanos que dice lo siguiente: "nadie podrá ser objeto de discriminaciones fundadas en su características genéticas, cuyo objeto o efecto sería atentar contra sus derechos y libertades fundamentales y el reconocimiento de su dignidad". ¿Crees que los padres tienen derecho a manipular o alterar la información hereditaria de sus hijos?

Download from
Dreamstime.com

EL GOBIERNO BRITÁNICO DA LUZ VERDE A LA CREACIÓN DE HIJOS DE TRES 'PADRES' GENÉTICOS

WALTER OPPENHEIMER / JAIME PRATS Londres / Valencia28 JUN 2013 - 10:29 CET
http://elpais.com/m/sociedad/2013/06/28/actualidad/1372408175_942180.html

El controvertido tratamiento de fecundación 'in vitro' utiliza el óvulo de una donante sana para evitar que el niño herede enfermedades mitocondriales

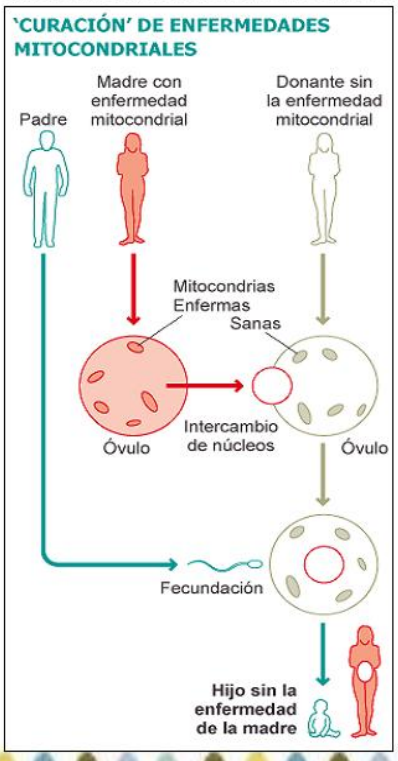


Londres prevé que pueda aplicarse en 2015

HEBER LONGÁS / EL PAÍS

El Gobierno británico ha abierto las puertas por primera vez en el mundo a una técnica de reproducción asistida que evita la transmisión de las enfermedades mitocondriales, unas graves y poco frecuentes patologías que se transmiten por vía materna, y que tiene una curiosa particularidad: los bebés nacidos gracias a este procedimiento tienen ADN aportado por tres progenitores porque se usa el óvulo de una donante sana.

El origen de estas enfermedades está en las mitocondrias, unos orgánulos que proporcionan energía a las células y que tienen su propio ADN (apenas el 0,2% de la carga genética total). Si el óvulo —una célula más— tiene mitocondrias con alteraciones genéticas patógenas, el problema se traslada, tras la fecundación, a las mitocondrias del bebé. Y como estos orgánulos son las factorías energéticas de las células, las consecuencias son muy severas, ya que afectan principalmente a los órganos que más energía necesitan, como el cerebro, el corazón o los músculos. La incidencia de estas patologías es muy baja, ronda un caso por cada 6.500 nacidos. De momento, se prevé que el procedimiento se aplicaría en los casos más graves, quizás una decena al año.



Fuente: elaboración propia.

El objetivo de la técnica lanzada por el Gobierno británico —aún no probada al completo en humanos, aunque sí en macacos— consiste en recurrir a un óvulo sano de donante para aprovechar sus mitocondrias. Sería imposible eliminar una a una las mitocondrias lesionadas de un óvulo enfermo y sustituirlas por las de otro sano. En lugar de ello, se vacía el núcleo del óvulo sano —preservando el resto de la estructura celular— y se sustituye por el del óvulo con mitocondrias alteradas. De esta forma, el nuevo óvulo resultante lleva todos los cromosomas de la madre y las mitocondrias sanas de la donante. Y puede ser fecundado en el laboratorio por los espermatozoides del padre sin riesgo de transmisión de enfermedad mitocondrial.

Hay otra forma de hacerlo: se sigue el mismo procedimiento con la diferencia de que en el intercambio no se usan óvulos, sino núcleos de embriones en sus primeras fases de desarrollo, por la que ya cuenta con el contenido genético de los dos padres.

En ambos casos, hay tres fuentes de ADN: de los padres y de la donante (el 0,2% de carga genética que se encuentra en las mitocondrias). La técnica, que ha recibido el preceptivo visto bueno de la Autoridad de Fertilización Humana y Embriología (HFEA en sus siglas en inglés), podría empezar a aplicarse dentro de dos años si se cumple el calendario previsto y el Parlamento recibe y aprueba en 2014 la correspondiente propuesta legislativa.

MONOS CON SEIS PROGENITORES

Nacen dos macacos creados a partir de la fusión de tres embriones
EMILIO DE BENITO Madrid6 ENE 2012
http://elpais.com/m/diario/2012/01/06/sociedad/1325804402_850215.html

Agitar y engendrar. Después de muchos intentos por conseguir monos viables (en concreto, macacos rhesus) con componentes genéticos de varios individuos, al final lo que ha funcionado -por lo menos hasta ahora- es el método más burdo: juntar los embriones y dejar que se mezclen. Es la primera vez que se crean quimeras de este tipo en primates. Y ya se sabe que cada avance con monos implica que se está más cerca de conseguirlo en humanos.

La investigación, que publicó ayer *Cell Press*, es relativamente sencilla de contar. Lo que los investigadores de la Universidad de Ciencia y Salud de Oregón (OHSU por sus siglas en inglés) han hecho ha sido juntar embriones de tres parejas de macacos, y conseguir que nazcan dos gemelos, *Roku* y *Hex*, cada uno con material genético proveniente de las seis aportaciones: los tres padres y las tres madres. Eso sí, para que el experimento funcionara hubo que tomar los embriones en un estado muy inicial, cuando solo contaban con cuatro células.

La fabricación de quimeras (nombre que viene del animal mitológico que tenía cabeza de león, vientre de cabra y cola de dragón) ya se había conseguido en roedores y otros mamíferos, pero nunca en primates. Aunque en este caso se trata de quimeras particulares, ya que no mezclan partes de distintas especies, sino de distintos animales; en cualquier caso, de muchos más que los dos de un proceso de reproducción normal, o los tres en el caso de que haya una transferencia nuclear, en cuyo caso el hijo tiene material genético del padre y de dos madres, la que aporta el ADN del núcleo del óvulo y la -minoritaria- que suministra el ADN mitocondrial.

"Las células no se han fusionado, pero permanecieron juntas y trabajaron para crear órganos", describe el principal autor del trabajo, Shoukhrat Mitalipov. "Las posibilidades para la ciencia son enormes".
Pero esas posibilidades no se esperan sino a muy largo plazo. De momento, lo que los investigadores han conseguido parece poco práctico. En los animales se han encontrado células derivadas de los tres embriones originarios en todos los órganos. Y esto tiene una utilidad relativa. Porque lo que sí que tendría sentido sería crear un ser con los genes para conseguir el mejor hígado, el corazón más resistente y el cerebro más desarrollado, pero no una mezcla descontrolada de todo ello. No solo por la mezcla, sino porque no ha habido ninguna posibilidad de dirigir el proceso: los investigadores, una vez se creó el embrión-fusión y este empezó a desarrollarse, no tuvieron ninguna posibilidad de decidir dónde iban los genes de cada uno de los progenitores, que es algo clave en las modernas terapias génicas.

EMPIEZA PRIMER ENSAYO CON CÉLULAS MADRES IPS EN HUMANOS

Disponible en: http://www.noticiasrcn.com/tags/manipulacion-genetica

Los científicos buscan regenerar los tejidos de la retinas a partir del uso de las células.

Un equipo de científicos japoneses inició el primer ensayo clínico del mundo con humanos usando células madre iPS, lo que abre una nueva y trascendental etapa de la medicina regenerativa.

Este primer estudio clínico empleando el hallazgo genético de las células de pluripotencia inducida, cuyo padre es el japonés Shinya Yamanaka, consolida el liderazgo de Japón en este tipo de medicina.

El histórico experimento se desarrollará en el prestigioso Instituto Rjken y el hospital de la ciudad de Kobe (centro del país), después de que sus responsables recibieran la obligatoria autorización del Ministerio de Salud nipón el pasado 19 de julio.

El equipo de científicos extraerá muestras de piel de humana y a partir de ellas generará células madre iPS con capacidad de convertirse en tejido de retina, que después sería implantado en pacientes que sufren una degeneración macular asociada a la edad.

Este problema, que actualmente afecta a unas 700.000 personas en Japón, es la principal causa de ceguera en el mundo.

La prioridad de este primer ensayo sin embargo no es que los pacientes tratados recobren la vista, aunque esto podría pasar, sino probar que se trata de un proceso seguro en el que por ejemplo no se desarrollan tumores, el principal riesgo, según el portavoz del equipo.

La primera tarea que ha empezado a realizar el grupo de científicos liderado por la doctora Masayo Takahashi, oftalmóloga responsable del departamento de regeneración retiniana del Instituto Rjken, es establecer los criterios para elegir a los seis pacientes residentes en Japón y de más de 50 años que se someterán a la prueba.

Tras ello y el proceso de generación de tejidos, que dura unos diez meses, el primer trasplante de retina en los pacientes con ceguera podría empezar a realizarse el verano que viene.

Los expertos coinciden en que si el experimento funciona se convertirá en una revolución de la medicina regenerativa y en la búsqueda de tratamientos para enfermedades hasta ahora incurables.

Las autoridades japonesas se han dado prisa en aprobar el proyecto, ya que la solicitud conjunta del Instituto Rjken de Investigación y la Fundación para Investigación Biomédica fue presentada hace solo un año.

"Los procedimientos han sido muy rápidos. Estoy muy agradecida porque podemos hacer la prueba clínica de una forma adecuada antes que nadie en el mundo", apuntó Takahashi durante un encuentro esta semana con los medios.

Japón sabe que juega un papel muy importante en la medicina regenerativa y la experimentación con células madre, ámbito en el que ha hecho inversiones importantes como el centro de investigación de la Universidad de Kioto.

El pionero en generación de iPS es el japonés Shinya Yamanaka, galardonado en 2012 con el Premio Nobel de Medicina por el método que desarrolló para crear este tipo de células mediante la reprogramación de células ya maduras.

Este hallazgo resuelve el problema ético de trabajar con células madre de embriones que, como las iPS, también poseen la capacidad de transformarse en cualquier tipo de célula.

El día que el Gobierno dio el visto bueno a este primer ensayo, Yamanaka celebró la decisión y dijo que se trataba de un importante punto de partida para la aplicación de estas células capaces de generar tejidos.

Los avances continúan en Japón, donde un equipo de científicos de la Universidad de Yokohama ha desarrollado un hígado funcional para seres humanos a partir de células madre iPS.

Esta investigación, realizada con ratones, podría suponer un gran avance en la medicina regenerativa, una vez probada clínicamente, al solucionar la escasez de donantes para curar enfermedades por insuficiencia de los órganos en fase terminal.

¿BEBÉS A LA CARTA?

Por: Nicolas Lafferriere
Disponible en: http://blogs.infobae.com/lavidaendebate/2015/04/29/bebes-a-la-carta/

¿Es posible diseñar genéticamente un bebé? ¿Qué implicaciones tiene tal posibilidad para la vida en sociedad? Estas y otras preguntas surgen como inquietantes especulaciones sobre el futuro de las técnicas que intermedian en la transmisión de la vida humana y que están transformando una de las dimensiones más decisivas de la existencia humana: el origen de cada vida.

La noticia que conmovió al mundo fue la modificación genética de embriones humanos, por primera vez en la historia, por parte de científicos chinos. La reacción a la noticia estuvo marcada por un fuerte reclamo ético a no realizar alteraciones genéticas de un embrión que se transmitan a la descendencia.

Pero la posibilidad de diseñar genéticamente bebés también se plantea a través de la selección de los gametos. En este sentido, desde hace un par de años la empresa 23andMe, Inc. pretende implementar un sistema para avanzar en la obtención de bebés con características deseadas y ha obtenido una patente para ello. El 24 de septiembre de 2013 la Oficina de Patentes de los Estados Unidos le otorgó la patente nro. 8.543.339 denominada "Selección de donante de gametos en base a cálculos genéticos" (Gamete donor selection based on genetic calculations) en virtud de la cual se pretende proteger jurídicamente un sistema, método o programa de computación ordenado a determinar por procedimientos estadísticos el mejor donante de gametos para lograr un resultado buscado.

El sistema que quieren implementar parte de un objetivo que se denomina "fenotipo de interés" y refiere a ciertas características observables o rasgos de un organismo, como sus propiedades morfológicas, evolutivas, bioquímicas, fisiológicas o de comportamiento. "La altura, el color de los ojos, el sexo, las características de la personalidad y el riesgo de desarrollar cierto tipo de cáncer son ejemplos de fenotipos", afirman en la patente. Una vez que se posee el fenotipo de interés, para procurar fijar las características del bebé a concebir, se estudia el genoma de posibles donantes y se determina por medio de cálculos probabilísticos cuál es el que presenta las mejores chances de obtener el "fenotipo de interés".

Se trata del recurso a una intermediación técnica en la procreación humana para conseguir un hijo diseñado según el deseo de los adultos.

Desde el punto de vista bioético y jurídico este sistema despierta justificadas críticas. Por un lado, el hijo es visto como un producto y como un commodity. Estamos ante una mercantilización de la vida y del niño concebido por la técnica. A su vez, si el derecho admite que sea válido fijar las características al hijo, surgirán inevitablemente planteos resarcitorios de los hijos hacia los padres en caso que, pudiendo concebir un hijo con mejores chances genéticas, no lo hicieran. Así, en la literatura bioética existen planteos que señalan un "deber" de los padres de tener el mejor hijo posible. Todo ello se enmarca en una tendencia eugenésica, es decir, de búsqueda de mejora de la raza.

De fondo, podemos decir que estas técnicas desconocen la naturaleza propia de la procreación humana, que por su estructura biológica está llamada a expresar la gratuidad del don, al entender que el hijo no es el fruto de un hacer técnico y controlable de los padres, sino que es el fruto gratuito de la mutua donación en la relación íntima de varón y mujer. Justamente aquí reside la "originalidad" de la transmisión de la vida humana, que por la dignidad del hijo no puede ser reducida a un mero procedimiento técnico.

BEBÉS A LA CARTA: LA NUEVA FRONTERA DE LA INGENIERÍA GENÉTICA

Por: Marielba Núñez
Disponible en http://theobjective.com/investigation/bebes-a-la-carta-la-nueva-frontera-de-la-ingenieria-genetica/

Desde herramientas que permiten seleccionar el sexo de los hijos o aumentar la probabilidad de que tengan algunos rasgos hasta tijeras moleculares que editan el ADN con precisión, la ciencia abre las puertas a un mundo en el que se podrán decidir las características de las nuevas generaciones.

La idea de utilizar la manipulación genética para lograr seres humanos a la medida ha sido una inspiración recurrente para la ciencia ficción. Pocas cosas seducen tanto la imaginación como soñar con un mundo donde puedan modificarse las características que vienen inscritas en el ADN para obtener aquellas que se desean.

Aunque todavía parezca una fantasía extravagante, la posibilidad de diseñar seres humanos con características determinadas luce cada vez más cercana.

Hace quince años, Jacques Cohen, uno de los biólogos más brillantes en el campo de la fertilización in vitro, desarrolló una técnica que permitía la transferencia de citoplasma de donante para tratar ovocitos con mitocondrias defectuosas". En pocas palabras, el bebé por nacer cuenta con información genética de tres personas: sus padres biológicos y una donante de óvulos que aporta mitocondrias sanas.

Este método se propuso como cura para la enfermedad mitocondrial, un desorden del funcionamiento de las células que puede causar fallas en varios órganos y sistemas del cuerpo. Su aplicación permitió que nacieran sanos 30 niños que de otra forma probablemente habrían desarrollado la enfermedad, pero la controversia ética que causó el procedimiento obligó a dictar una moratoria de su aplicación, hasta tanto se comprobara su seguridad.

En febrero de este año, la Cámara de los Comunes de Reino Unido aprobó finalmente el uso de la técnica luego de comprobar que, tres lustros después, aquellos bebés siguen sin presentar problemas de salud. Pese a que gracias a ello miles de familias tienen la esperanza de criar bebés libres de la enfermedad mitocondrial, persisten las dudas. Hasta el año pasado, la Agencia de Alimentos y Fármacos estadounidense, FDA, mantuvo sus cuestionamientos al método y su recomendación de continuar los estudios para determinar la seguridad de madres e hijos, así como de generaciones futuras.

Otras vías, menos sofisticadas que la manipulación de la línea germinal humana, ofrecen de alguna manera diseñar hijos que cumplan los deseos de sus progenitores. Para quienes quieren escoger el sexo del futuro bebé, existe la tecnología que permite separar los espermatozoides que portan los cromosomas X o Y. Combina el uso de un láser para identificar las células deseadas en el líquido seminal y descartar las que no interesan. Luego se utilizan técnicas de reproducción asistida, como la fertilización in vitro o la inseminación artificial, para asegurar la fecundación de un embrión del sexo que se busca.

Con el mismo fin se utilizan otros desarrollos, como la PGD o diagnóstico genético previo a la implantación, que posibilita también en laboratorio seleccionar los embriones que conducirán al nacimiento de una niña o un niño antes de insertarlos en el útero.

Una ventaja de este tipo de métodos es que facilitan la prevención de defectos congénitos que se expresan solamente en algunos sexos, como la hemofilia, pero no dejan de ser polémicos porque también se ofrecen para aquellos padres que invocan la búsqueda de "equilibrio familiar".

Aunque estas técnicas tienen ya varios años de creadas, las observaciones éticas, legales y morales sobre su uso persisten y fueron resumidas por la Organización Mundial de la Salud en dos: pueden distorsionar la proporción natural en la que nacen hombres y mujeres y refuerzan la discriminación femenina, especialmente en países con marcada desigualdad de género, como India y China.

En la búsqueda del bebé ideal, también se han explorado herramientas que estudian las probabilidades de que un hipotético hijo tenga determinadas características. Hace un par de años, la empresa estadounidense 23andMe causó un escándalo entre los especialistas en bioética al obtener la patente de un método que prometía dar a los padres la opción de escoger ciertos rasgos como si se tratara de una lista de compra. Por ejemplo, se podía seleccionar para el bebé una mayor expectativa de vida, mayor habilidad para los deportes o menor riesgo de desarrollar determinados tipos de cáncer.

El invento, tan fascinante como escalofriante, fue cuestionado por la revista Genetics in Medicine, del Colegio de Genética Médica y Genómica de Estados Unidos. Señalaron que el uso de un proceso computarizado para elegir gametos que condujeran a fenotipos especiales "tiene implicaciones muy amplias pues consiste en seleccionar rasgos que no tienen que ver con una enfermedad en particular".

LA MANIPULACIÓN GENÉTICA DE LA RAZA HUMANA, A LA VUELTA DE LA ESQUINA EN EE.UU.

Publicado: 9 jul 2013 20:17 GMT en https://actualidad.rt.com/ciencias/view/99567-pureza-genetica-cabeza-nueva-tecnologia-estadounidense

La tecnología moderna de reproducción selectiva del ser humano ofrece optar por un feto en detrimento de otros a razón del futuro color de pelo o iris. Es más, abre el camino a una nueva discriminación por motivos de la 'pureza genética'.

Al menos así opina el investigador, bloguero y escritor independiente estadounidense Michael Snyder. Eventualmente, sugiere, los embriones defectuosos pueden ser prohibidos por completo, porque sin ellos ya "la sociedad está sobrecargada".

Snyder hace reminiscencia a una película del género de la distopía del año 1997: 'Gattaca'. Los valores que tienen y los riesgos que corren sus protagonistas son cada vez más entrañables para la sociedad de hoy. Y es que la tecnología, que parecía ciencia ficción cuando se rodó la cinta, ya es una realidad.

Una pareja de Filadelfia (Pensilvania, EE.UU.) dio a luz en mayo a un bebé engendrado mediante los procedimientos de la 'secuenciación de la próxima generación' y posterior elección voluntaria de sus padres por un embrión de entre una docena. El padre y la madre cumplieron con esa tarea a partir de las propiedades genéticas de cada uno de los embriones, precisa el investigador en su blog.

Poco después de ser concebido, Connor Levy –así ha sido bautizado el bebé– fue sometido a unas pruebas en Oxford para excluir anomalías genéticas, al igual que sus 'hermanos' y 'hermanas'. Solamente él llegó a ver la luz, luego de los criterios subjetivos de la selección.

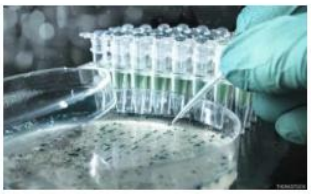
Se supone que ha sido el primer fruto entre los seres humanos del método avanzado de la eugénica. Pero se espera que el mes próximo nazca en EE.UU. otro bebé concebido a través de la aplicación de los mismos procedimientos de la secuenciación genética, revela Snyder. Así que esto es solo el comienzo.

Mientras la tecnología sigue avanzando, se pregunta el investigador: ¿habrá algunos límites de lo posible? Un profesor de Harvard, George Church, ya está intentando contratar a una mujer aventurera para que dé a luz a un bebé neandertal. Asegura que su análisis del código genético de los neandertales a partir de las muestras de sus huesos es suficiente para reconstruir su ADN.

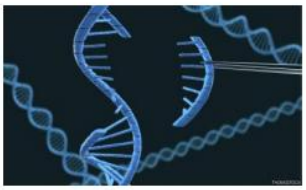
Con pasos como este, a juicio de Snyder, no están lejos "los tiempos en los que la manipulación genética con la raza humana será algo común y corriente".

¿ROMPIÓ CHINA EL TABÚ DE LA MODIFICACIÓN GENÉTICA DE EMBRIONES HUMANOS?

Redacción BBC Mundo – 24 abril de 2015 disponible en http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/04/150424_ciencia_cientificos_chinos_modifican_embriones_humanos_lv



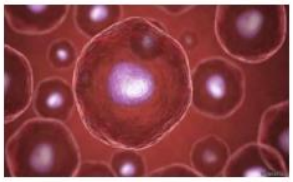
La primera modificación de embriones humanos de la historia, llevada a cabo por científicos chinos, acaba de desencadenar un intenso debate sobre los límites de la manipulación genética.
El objetivo del equipo de investigadores de la Universidad SunYat-sen, de Guanzhou, liderado por el genetista Jujnjiu Huang, era corregir el gen responsable de la beta-talasemia, una enfermedad hematológica hereditaria y potencialmente mortal.
Para ello empleó una avanzada técnica de edición de genes, llamada CRISPR, por las siglas que corresponden a Repeticiones Palindrómicas Cortas Espaciadas entre sí y Agrupadas.
Permite alterar de forma más rápida, precisa y detallada cualquier posición de los 23 pares de cromosomas del genoma sin cometer errores ni introducir mutaciones no deseadas.



La terapia fue descubierta hace cinco años y desde entonces ha sido utilizada con éxito para corregir células humanas adultas y células embrionarias de otras especies.
Sin embargo, en embriones humanos no parece tan eficiente.
Al menos no en la investigación desarrollada por el equipo de Huang.

Embriones no viables

Los investigadores la pusieron en práctica en 86 embriones, de los que sobrevivieron 71. Pudieron editar con éxito 28 y solo logró corregir el gen de la beta-talasemia en cuatro de ellos.
Aunque los científicos no aclararon si el resultado se debe a un problema con la técnica o con los propios embriones, que fueron obtenidos de centros de reproducción asistida.



Por cuestiones éticas, eran embriones no viables; esto es, tenían una copia extra de cromosomas en cada célula, por lo que no hubiera podido desarrollarse de ellos un feto normal.
Pero sea cual sea el motivo del resultado, "nuestro trabajo ilustra la necesidad de mejorar la técnica CRISPR/Cas9 (...) antes de cualquier aplicación clínica", concluyeron los investigadores en la investigación, titulada Edición génica mediada por CRISPR/Cas9 en cigotos tripronucleares humanos y publicada por la revista especializada Protein&Cell.
Antes de ofrecérselo a este medio los científicos habían tratado de publicar el trabajo en dos revistas de mayor renombre, Nature y Science, pero ambas lo rechazaron por motivos éticos.

Estos medios publicaron el mes pasado artículos de opinión de líderes de la comunidad biomédica en la que pedían una moratoria para la manipulación genética de células germinales, como óvulos, espermatozoides y células embrionarias.
Y después de que salió a la luz el estudio de los científicos de la Universidad SunYat-sen, más opiniones se han sumado y la polémica a empezado a sonar más fuerte.

A favor de moratoria

La mayoría de los que han alzado la voz insisten en lo que los mismos investigadores dijeron: es pronto para una aplicación clínica.
A ese grupo pertenece Jennifer Doudna, científica de la Universidad de California en Berkeley, Estados Unidos, que desarrolló la técnica CRISPR: "El propio estudio subraya que la técnica no está lista para ser aplicada de forma clínica en las células germinales humanas".

Los premios Nobel David Baltimore y Paul Berg comparten esta postura, tal como lo explican en el artículo titulado "Pulsemos 'pausa' antes de alterar la humanidad", publicado en el diario The Wall Street Journal.
Ambos advierten que los cambios introducidos en las células germinales se transmitirían a las generaciones siguientes y las consecuencias hoy son imprevisibles.
En ese sentido, otros son más tajantes. "Esto (el estudio) enfatiza la necesidad de una prohibición global inmediata a la creación de bebés genéticamente modificados", opina David King, director de la organización británica Human Genetics Alert.
Con ello King hace referencia a fines que no son médicos, como el de modificar la apariencia física o la inteligencia de las futuras generaciones.
Sin embargo, los defensores de la terapia génica insisten en que liberaría a la humanidad de enfermedades hereditarias.
De esa opinión es el académico Julian Savulescu, el editor jefe del Journal of Medical Ethics.
El profesor de la Universidad de Oxford, en Reino Unido, opina que crear los llamados bebés de diseño debería considerarse "una obligación moral", ya que al crecer se convertirían en "niños éticamente mejores". Así lo defendió en un artículo publicado en versión británica de la revista Reader's Digest.

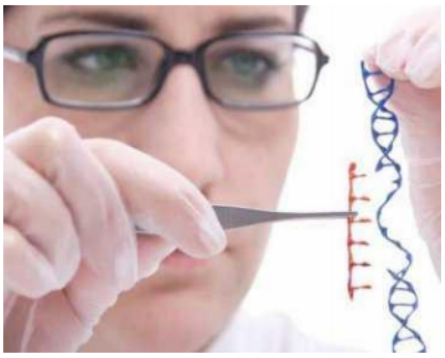
MANIPULACIÓN GENÉTICA GENERA DEBATE ENTRE INVESTIGADORES Y FILÓSOFOS

Por Ciencia y Tecnología 11 marzo de 2015 disponible en: http://www.noticiaCristiana.com/ciencia_tecnologia/2015/03/manipulacion-genetica-genera-debate-entre-investigadores-y-filosofos.html

Por un lado la transhumanidad piensa en crear seres humanos perfectos, sin embargo los eruditos vinculan la técnica con la eugenesia predicada por el nazismo.

El gobierno británico aprobó una ley que permite una generación de embriones con ADN de tres personas diferentes. La idea es evitar que las mutaciones genéticas se transmitan a los niños utilizando el ADN de una tercera persona para que el niño nazca sano.

El procedimiento se hace todo en el laboratorio a través de la reproducción asistida, pero lo que es un gran avance para la medicina se ha convertido en un problema importante para los filósofos e investigadores que compararon la técnica con el llamado transhumanismo.



El transhumanismo busca aplicar procedimientos científicos, ya que esta técnica adoptada en Inglaterra es para aumentar las capacidades físicas, intelectuales y emocionales de los seres humanos.

Resulta que la filosofía de la transhumanidad tiene características similares con la eugenesia del siglo 20, una práctica científica y política que sirvió de base para el nazismo.

En Alemania la eugenesia del siglo pasado buscaba a los "mejores" genes por lo que millares de personas murieron para eliminar "rasgos indeseables".

Se teme que este proceso se esté nuevamente predicando, por lo que la directora del Centro de Genética y Sociedad (CGS), Marcy Darnovsky, está en contra de la decisión de Inglaterra.

"Si se aprueban estos cambios, es posible – incluso probable – que las dinámicas sociales y comerciales ligeras a los esfuerzos produzcan seres humanos "mejorados". Eso está muy cerca de la definición clásica de la eugenesia. Podemos vernos a nosotros mismos en un mundo donde serán traídos a la existencia enteramente nuevos tipos de desigualdad".

Pero los defensores de la transhumanidad afirman que la eugenesia no es mala. "Al mismo tiempo en que la eugenesia promueve la esterilización de la población, también aboga por la mejora de su salud", dice Steve Fuller, profesor de la Universidad de Warwick en Inglaterra, y autor de dos libros:

"Humanidad 2.0 y El imperativo Proactivo".

Otros filósofos, sin embargo, como el estadounidense Francis Fukuyama y el alemán Jurgen Habermas consideran que la transhumanidad son ideas que amenazan la democracia a través de la manipulación genética de los embriones.

La decisión inglesa es un paso a la aplicación de estas pruebas que buscan transformar la humanidad a través de la manipulación científica.