



## Curso de capacitación docente en Biología Genética y evolución

Hace algún tiempo Piaget (1969) nos explicaba que los conocimientos biológicos llevan consigo dos dimensiones: la sincrónica y la diacrónica. La primera, corresponde a la noción de organización de estructuras y funciones y nos conduce al análisis de la diversidad. La segunda, corresponde a la noción de evolución o desarrollo y aborda las transformaciones temporales de las estructuras en un doble sentido, ontogenético y filogenético. Además, sabemos que ambos tipos de conocimiento han sufrido transformaciones e interpretaciones diferentes a lo largo de la historia, quizás muy descriptivas en sus inicios...

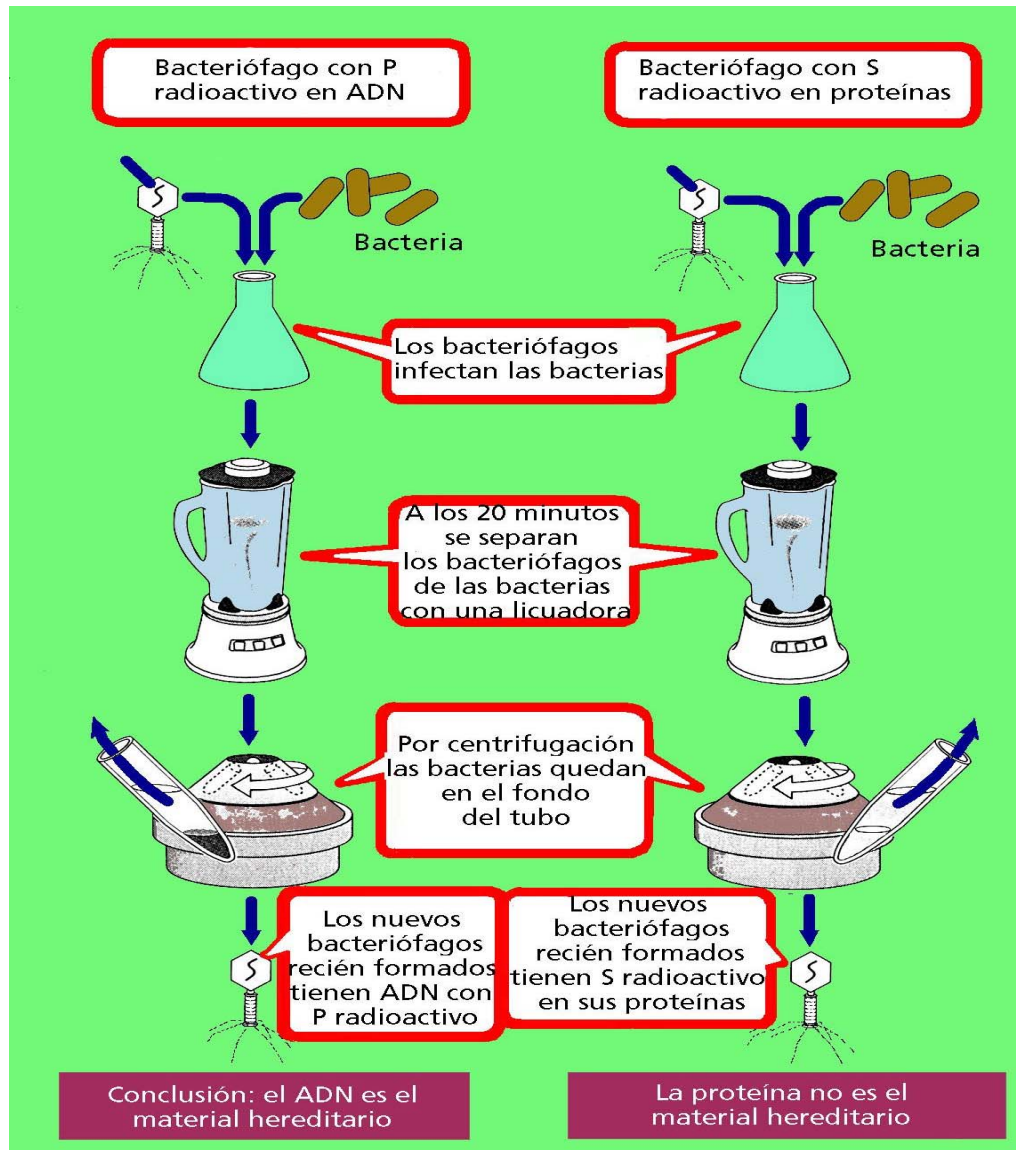
---

**Ministra de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación**  
Dra. Graciela Giannettasio

**Secretario de Educación**  
Dr. Ricardo Biazzi

**Subsecretaria de Equidad y Calidad**  
Lic. Marta Blanco

**Directora Nacional de Gestión Curricular y Formación Docente**  
Prof. Mónica Farias



Los resultados condujeron a la conclusión ya encontrada con anterioridad: el ADN es el portador de la información genética. Podemos decir, entonces, que las unidades hereditarias (más adelante llamadas genes) están constituidas por ADN. Una vez que los científicos se convencieron de la relación entre ADN e información genética, comenzaron a interesarse mucho más en él.

¿Cuál era el nuevo problema? Ahora era necesario nada menos que *indagar cómo una molécula podía almacenar y transmitir tanta información*. El desafío que se les presentaba a los científicos en ese momento, era encontrar una estructura para el ADN que permitiera explicar su función. Encontrar esta estructura, como la de cualquier otra macromolécula biológica, no fue una tarea sencilla.





## Índice

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Los autores .....</b>                                                                                  | <b>9</b>  |
| <b>Palabras de apertura .....</b>                                                                         | <b>11</b> |
| Enfoques y ejes de los contenidos de biología y didáctica.....                                            | 11        |
| A modo de presentación del “Curso Genética y Evolución” .....                                             | 11        |
| Concepciones generales del plan de trabajo propuesto.....                                                 | 12        |
| Los interrogantes, ejes de cada etapa de este Curso .....                                                 | 13        |
| Sobre la didáctica que propiciamos.....                                                                   | 16        |
| Principales ideas sobre la visión de biología que le presentamos.....                                     | 18        |
| Una didáctica en relación con la visión de la biología que le presentamos .....                           | 19        |
| Bibliografía de la apertura .....                                                                         | 21        |
| <b>Capítulo 1 : La información genética a nivel molecular .....</b>                                       | <b>22</b> |
| Introducción.....                                                                                         | 22        |
| <b>Aproximaciones didácticas .....</b>                                                                    | <b>23</b> |
| Sobre la naturaleza de la ciencia y su enseñanza .....                                                    | 23        |
| A modo de síntesis.....                                                                                   | 27        |
| <b>Contenidos de biología.....</b>                                                                        | <b>31</b> |
| El material hereditario .....                                                                             | 31        |
| Introducción.....                                                                                         | 31        |
|  ACTIVIDAD N° 1.....   | 33        |
| ¿Qué molécula es el material hereditario? .....                                                           | 34        |
| Experimentos de Griffith .....                                                                            | 35        |
|  ACTIVIDAD N° 2.....   | 38        |
| Experimento de Avery y colaboradores.....                                                                 | 39        |
| Experimento de Hershey y Chase.....                                                                       | 40        |
| La estructura química del ADN .....                                                                       | 43        |
| ¿Cómo se resuelve el misterio de la estructura química del ADN?.....                                      | 43        |
| La duplicación del ADN.....                                                                               | 50        |
| ¿Cómo se duplica el ADN y lleva la información de generación en generación?.....                          | 50        |
|  ACTIVIDAD N° 3.....   | 52        |
| La relación ADN/PROTEÍNAS .....                                                                           | 54        |
| ¿Cómo se descubre la conexión entre el ADN y las proteínas? .....                                         | 54        |
| ¿Cómo se transmite la información genética del ADN hasta llegar a la construcción de las proteínas? ..... | 57        |
|  ACTIVIDAD N° 4.....   | 66        |
| La regulación génica y las mutaciones .....                                                               | 68        |
| ¿Cómo se regula la expresión de los genes? .....                                                          | 68        |
| En procariotas .....                                                                                      | 68        |
| En eucariotas .....                                                                                       | 72        |
| ¿Cómo se producen los cambios en la información genética? .....                                           | 73        |
| Un aporte para el aula .....                                                                              | 74        |
| ¿Cuál es el efecto de las mutaciones en los organismos? .....                                             | 74        |

|                                                                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Las proteínas y los priones .....                                                                                     | 77         |
| ¿Las proteínas pueden jugar algún papel que no se había sospechado? .....                                             | 77         |
| <b>Otras Aproximaciones didácticas .....</b>                                                                          | <b>79</b>  |
| La historia de la ciencia como recurso didáctico .....                                                                | 79         |
| <b>Actividad de integración.....</b>                                                                                  | <b>81</b>  |
|  ACTIVIDAD N°5.....                  | 81         |
| <b>Actividades de autoevaluación .....</b>                                                                            | <b>83</b>  |
|  ACTIVIDADES de autoevaluación ..... | 83         |
| Clave para las respuestas de las actividades de autoevaluación .....                                                  | 85         |
|  ACTIVIDAD N° 1.....                 | 85         |
|  ACTIVIDAD N° 2.....                 | 86         |
|  ACTIVIDAD N° 3.....                 | 86         |
|  ACTIVIDAD N° 4.....                 | 86         |
| <b>Bibliografía.....</b>                                                                                              | <b>88</b>  |
| Bibliografía didáctica .....                                                                                          | 88         |
| Bibliografía disciplinar.....                                                                                         | 88         |
| <b>Capítulo 2: La información genética a nivel celular .....</b>                                                      | <b>90</b>  |
| Introducción.....                                                                                                     | 90         |
| <b>Aproximaciones didácticas .....</b>                                                                                | <b>92</b>  |
| Concepciones (modelos) de enseñanza y aprendizaje .....                                                               | 92         |
| Concepciones extremas sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje .....                                                 | 94         |
| Relación que priorizan .....                                                                                          | 94         |
| <b>Otras aproximaciones didácticas .....</b>                                                                          | <b>99</b>  |
| Transposición didáctica.....                                                                                          | 99         |
| Cuando hablamos de construir conocimientos en el aula de ciencias ¿de qué conocimiento hablamos? .....                | 99         |
| <b>Contenidos de biología.....</b>                                                                                    | <b>103</b> |
| Generalidades sobre la división celular .....                                                                         | 103        |
| ¿Cómo se multiplica una célula y origina dos células hijas iguales a sí misma? .....                                  | 103        |
| La reproducción en la célula procariota.....                                                                          | 104        |
| La reproducción en la célula eucariota.....                                                                           | 105        |
| La estructura de los cromosomas .....                                                                                 | 106        |
| ¿Cromatina o cromosoma? .....                                                                                         | 106        |
| En síntesis.....                                                                                                      | 107        |
| Estructura del cromosoma eucariótico .....                                                                            | 109        |
| Las características constantes del cromosoma se mantienen .....                                                       | 110        |
|  ACTIVIDAD N° 6.....               | 112        |

|                                                                                                          |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| El ciclo celular y la mitosis .....                                                                      | 113        |
| El ciclo celular .....                                                                                   | 113        |
| La interfase.....                                                                                        | 113        |
| La división celular.....                                                                                 | 114        |
| ¿Cuál es el resultado de la mitosis y qué función cumple el organismo? .....                             | 117        |
| La regulación del ciclo celular .....                                                                    | 118        |
| ¿Todas las células pasan por ciclos celulares completos y se dividen al mismo ritmo? ....                | 118        |
| Regulación del ciclo celular ¿Cómo se relaciona con el cáncer? .....                                     | 119        |
| Retomemos la idea: cáncer y oncogenes que aparece en el primer texto. ....                               | 121        |
|  ACTIVIDAD N° 7.....    | 123        |
| El número cromosómico y la meiosis .....                                                                 | 126        |
| ¿Cómo es el mecanismo que mantiene constante el número de cromosomas de generación en generación?.....   | 126        |
| El envejecimiento celular.....                                                                           | 133        |
| La determinación del sexo y el cariotipo.....                                                            | 136        |
| ¿Cómo se determina el sexo?.....                                                                         | 136        |
| El cariotipo.....                                                                                        | 138        |
| El cariotipo humano .....                                                                                | 138        |
|  ACTIVIDAD N° 8.....    | 139        |
| Alteraciones cromosómicas .....                                                                          | 142        |
| ¿Cuáles son las alteraciones que se producen en los cromosomas? .....                                    | 142        |
| Ejemplos de cambios en el número de cromosomas .....                                                     | 142        |
| Cambios en la estructura de los cromosomas.....                                                          | 144        |
| <b>Otras aproximaciones didácticas .....</b>                                                             | <b>146</b> |
| Las ideas previas como punto de partida .....                                                            | 146        |
| ¿Cómo retomar las ideas previas para construir un conocimiento científico?.....                          | 150        |
| Enfoque constructivista para los trabajos prácticos de laboratorio.....                                  | 152        |
| Ideas básicas sobre el modelo de enseñanza por investigación.....                                        | 152        |
| Los TP de laboratorio y los modelos de enseñanza por investigación .....                                 | 152        |
| ¿Por qué son importantes los TP de laboratorio como de actividades de aprendizaje? ....                  | 153        |
| <b>Actividad de integración.....</b>                                                                     | <b>154</b> |
|  ACTIVIDAD N°9.....   | 154        |
| <b>Actividades de autoevaluación .....</b>                                                               | <b>156</b> |
|  ACTIVIDAD N° 1.....  | 156        |
|  ACTIVIDAD N° 2.....  | 156        |
| Clave para las respuestas de la autoevaluación .....                                                     | 158        |
|  Actividad N° 1 ..... | 158        |
|  Actividad N° 2 ..... | 160        |
| <b>Bibliografía.....</b>                                                                                 | <b>162</b> |
| Bibliografía didáctica .....                                                                             | 162        |
| Bibliografía disciplinar .....                                                                           | 162        |

|                                                                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Capítulo 3: La información genética a nivel de un individuo .....</b>                                                                | <b>164</b> |
| Introducción.....                                                                                                                       | 164        |
| <b>Aproximaciones didácticas .....</b>                                                                                                  | <b>165</b> |
| Los componentes de la situación didáctica .....                                                                                         | 165        |
| Los docentes: mediadores fundamentales en el proceso de transformación del conocimiento .....                                           | 168        |
| El currículo y sus niveles de concreción .....                                                                                          | 172        |
| Los cambios en el currículo propuestos por la última reforma educativa ¿Cómo se integran al proceso de mediación y transposición? ..... | 172        |
| Transposición del conocimiento y niveles de concreción del currículo .....                                                              | 174        |
| <b>Contenidos de biología.....</b>                                                                                                      | <b>178</b> |
| La reproducción .....                                                                                                                   | 178        |
| Generalidades .....                                                                                                                     | 178        |
| ¿Cómo se reproducen los organismos? Los tipos de reproducción .....                                                                     | 179        |
| Reproducción Asexual.....                                                                                                               | 179        |
| Reproducción sexual .....                                                                                                               | 181        |
|  ACTIVIDAD N° 10.....                                  | 183        |
| La fecundación .....                                                                                                                    | 186        |
| ¿Dónde ocurre la fecundación? .....                                                                                                     | 188        |
| El desarrollo del embrión .....                                                                                                         | 189        |
| Los animales ovíparos.....                                                                                                              | 189        |
| Los animales ovovivíparos .....                                                                                                         | 190        |
| Los animales vivíparos .....                                                                                                            | 190        |
| En el caso de las plantas.....                                                                                                          | 190        |
| Los ciclos biológicos .....                                                                                                             | 192        |
| La alternancia de las fases haplonte y diplonte .....                                                                                   | 192        |
|  ACTIVIDAD N° 11.....                                | 192        |
| Comparación entre la evolución de la reproducción de las plantas y los animales .....                                                   | 197        |
|  ACTIVIDAD N° 12.....                                | 198        |
| Reproducción sexual y reproducción asexual: ventajas y desventajas .....                                                                | 202        |
|  ACTIVIDAD N° 13.....                                | 204        |
| Clonación y reproducción sexual .....                                                                                                   | 206        |
| ¿Cómo clonar un ratón? .....                                                                                                            | 207        |
| ¿Cuál fue la novedad en la clonación de la oveja Dolly? .....                                                                           | 207        |
| Los problemas éticos de la clonación: un tema para reflexionar.....                                                                     | 210        |
|  ACTIVIDAD N° 14.....                                | 210        |
| <b>Otras Aproximaciones didácticas .....</b>                                                                                            | <b>214</b> |
| Alfabetización científica CTS y biotecnología .....                                                                                     | 214        |
| Relaciones ciencia – sociedad – escuela .....                                                                                           | 214        |
|  ACTIVIDAD N° 15.....                                | 218        |
| Nuevamente las ideas previas .....                                                                                                      | 218        |
| El origen de las ideas previas.....                                                                                                     | 219        |
| Origen sensorial .....                                                                                                                  | 219        |

|                                                                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Origen cultural .....                                                                                                | 220        |
| Origen escolar .....                                                                                                 | 220        |
| En síntesis .....                                                                                                    | 221        |
| Las analogías .....                                                                                                  | 221        |
| Las ideas previas sobre la reproducción .....                                                                        | 222        |
| A modo de cierre: para integrar y seguir avanzando .....                                                             | 223        |
| El rol docente según el modelo de enseñanza .....                                                                    | 225        |
| ¿Cambia el rol del docente acorde con la transposición que provoca a partir del modelo de enseñanza que elige? ..... | 226        |
| Modelo .....                                                                                                         | 227        |
| <b>Actividad de integración.....</b>                                                                                 | <b>230</b> |
|  ACTIVIDAD N° 16.....               | 230        |
| <b>Actividades de autoevaluación .....</b>                                                                           | <b>232</b> |
|  ACTIVIDAD N° 1.....                | 232        |
|  ACTIVIDAD N° 2.....                | 232        |
|  ACTIVIDAD N° 3.....                | 233        |
|  ACTIVIDAD N° 4.....                | 233        |
| Claves para las respuestas de las actividades de autoevaluación .....                                                | 234        |
|  ACTIVIDAD N° 1 .....             | 234        |
|  Actividad N° 2 .....             | 234        |
|  ACTIVIDAD N° 3.....              | 235        |
|  ACTIVIDAD N° 4.....              | 235        |
| <b>Bibliografía.....</b>                                                                                             | <b>236</b> |
| Bibliografía didáctica .....                                                                                         | 236        |
| Bibliografía Disciplinar.....                                                                                        | 236        |
| <b>Capítulo 4: La transmisión de las características hereditarias.....</b>                                           | <b>238</b> |
| Introducción.....                                                                                                    | 238        |
| <b>Aproximaciones didácticas .....</b>                                                                               | <b>240</b> |
| Las competencias del docente .....                                                                                   | 240        |
| La unidad didáctica .....                                                                                            | 244        |
| ¿Qué es una unidad didáctica?.....                                                                                   | 244        |
| ¿Cómo hacer una UD?.....                                                                                             | 245        |
| Los componentes de la estructura de una CD .....                                                                     | 246        |
| A modo de síntesis y reflexión.....                                                                                  | 249        |
| <b>Contenidos de biología.....</b>                                                                                   | <b>250</b> |
| La herencia de generación en generación.....                                                                         | 250        |
| Un recorrido por las ideas más antiguas sobre la herencia.....                                                       | 250        |
| La genética moderna comienza con el trabajo de Gregor Mendel .....                                                   | 252        |
| Los resultados de los experimentos de Mendel .....                                                                   | 254        |
| Los resultados de Mendel a la luz de la biología celular y molecular .....                                           | 257        |

|                                                                                     |                                                                                    |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|    | ACTIVIDAD N° 17.....                                                               | 259        |
|                                                                                     | Alelos, locus, fenotipo y genotipo .....                                           | 260        |
|                                                                                     | Enunciado del principio de segregación – 1ª ley de Mendel .....                    | 262        |
|    | ACTIVIDAD N° 18.....                                                               | 263        |
|                                                                                     | ¿Por qué no se reconoció rápidamente la brillantez de los trabajos de Mendel?..... | 264        |
|                                                                                     | La base cromosómica de la herencia mendeliana .....                                | 266        |
|                                                                                     | La herencia no mendeliana.....                                                     | 268        |
|                                                                                     | Toda la herencia no se rige por los principios o leyes de Mendel .....             | 268        |
|                                                                                     | La dominancia incompleta.....                                                      | 268        |
|                                                                                     | Los alelos múltiples y la codominancia. El caso de los grupos sanguíneos .....     | 268        |
|                                                                                     | La herencia cuantitativa.....                                                      | 269        |
|                                                                                     | La pleiotropía.....                                                                | 270        |
|                                                                                     | La epistasis .....                                                                 | 270        |
|                                                                                     | Impacto del ambiente en el fenotipo.....                                           | 271        |
|                                                                                     | Genes ligados .....                                                                | 272        |
|                                                                                     | El estudio de la herencia en los seres humanos .....                               | 274        |
|                                                                                     | La herencia mendeliana en humanos .....                                            | 274        |
|                                                                                     | El uso de los árboles genealógicos .....                                           | 274        |
|    | ACTIVIDAD N° 19.....                                                               | 278        |
|                                                                                     | La herencia ligada al sexo.....                                                    | 279        |
|    | ACTIVIDAD N° 20.....                                                               | 280        |
|                                                                                     | La manipulación genética .....                                                     | 284        |
|                                                                                     | ¿Puede el ser humano manipular el material genético?.....                          | 284        |
|                                                                                     | ¿Cuáles son las aplicaciones de la tecnología del ADN recombinante?.....           | 287        |
|  | ACTIVIDAD N° 21.....                                                               | 291        |
|                                                                                     | ¿Cuáles son los problemas éticos y de seguridad que estas técnicas plantean? ..... | 293        |
|  | ACTIVIDAD N° 22.....                                                               | 294        |
|                                                                                     | Un caso aparte: el genoma humano .....                                             | 302        |
|  | ACTIVIDAD N° 23.....                                                               | 303        |
|                                                                                     | <b>Otras aproximaciones didácticas .....</b>                                       | <b>305</b> |
|                                                                                     | Elaboración de una UD de genética .....                                            | 305        |
|                                                                                     | Encontrar las “ideas – fuerza” de la UD .....                                      | 305        |
|                                                                                     | Diagnóstico.....                                                                   | 306        |
|                                                                                     | Evaluación y seguimiento.....                                                      | 306        |
|                                                                                     | Elaborar los objetivos .....                                                       | 306        |
|                                                                                     | Seleccionar los contenidos.....                                                    | 308        |
|                                                                                     | Los contenidos conceptuales .....                                                  | 308        |
|                                                                                     | Los contenidos procedimentales .....                                               | 310        |
|                                                                                     | Los contenidos actitudinales .....                                                 | 312        |
|                                                                                     | Los contenidos procedimentales en el contexto de la resolución de problemas .....  | 313        |
|                                                                                     | <b>Actividad de integración.....</b>                                               | <b>320</b> |
|  | ACTIVIDAD N° 24.....                                                               | 320        |
|                                                                                     | <b>Actividades de autoevaluación .....</b>                                         | <b>322</b> |
|  | ACTIVIDAD N° 1.....                                                                | 322        |
|                                                                                     | Claves de respuesta de la autoevaluación .....                                     | 324        |

|                                                                                   |                      |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|
|  | Actividad N° 1 ..... | 324        |
| <b>Bibliografía.....</b>                                                          |                      | <b>327</b> |
| Bibliografía didáctica .....                                                      |                      | 327        |
| Bibliografía disciplinar .....                                                    |                      | 327        |
| <b>Bibliografía comentada del curso.....</b>                                      |                      | <b>329</b> |
| Bibliografía didáctica .....                                                      |                      | 329        |
| Bibliografía disciplinar.....                                                     |                      | 330        |
| <b>Palabras finales del módulo I.....</b>                                         |                      | <b>331</b> |

## Los autores

**Ana Lía De Longhi**, docente e investigador del Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología (F.C.E.F.N., U.N.C.) y del Grupo de Enseñanza de la Ciencia a la Tecnología (F.A.M.A.F., U.N.C.). Profesora de Biología, Licenciada en Ciencias de la Educación y Doctora en Educación. Es actualmente profesora Titular de Didáctica General y Especial de la Biología en FCEfyN y encargado de Psicología del Aprendizaje en FAMAF.

Director de proyectos de investigación y de tesis relacionados principalmente con el tema la comunicación didáctica en ciencias. Está categorizada por el Programa de Incentivos de la Secretaría de Políticas Universitarias. Autor de numerosos artículos científicos y de divulgación en revistas nacionales e internacionales con referato, así como de ponencias y trabajos en congresos y capítulos de libros. Es miembro de la Asociación de Profesores de Biología de la Argentina (ADBiA), y Editor Responsable del proyecto de *Revista de Edición en Biología*, desde 1998.

**Gabriel Bernardello**, docente e investigador del Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal. Profesor en Ciencias Biológicas, Biólogo y Doctor en Ciencias Biológicas (F.C.E.F.N., U.N.C.). Es actualmente Profesor Titular de Introducción a la Biología de la misma Facultad y Miembro de la Carrera del Investigador Científico (CONICET), categoría Principal. Está categorizada por el Programa de Incentivos de la Secretaría de Políticas Universitarias. Ha publicado numerosos artículos científicos y de divulgación en revistas nacionales e internacionales con referato y ha presentado de ponencias y trabajos en congresos, en el área de Biología Vegetal. Ha dado diversos cursos y producido materiales para profesores de nivel Medio y Terciario. Es Director del *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, desde el año 2000.

**Liliana Crocco**, docente e investigador del Centro de Investigaciones Entomológicas de Córdoba (F.C.E.F.N., U.N.C.) Profesora en Ciencias Biológicas, Bióloga y Doctora en Ciencias Biológicas (F.C.E.F.N.; U.N.C.). Es actualmente Profesora Adjunta de Introducción a la Biología de la misma Facultad y responsable del dictado de Curso de Posgrado Insectos Hematófagos de Importancia Médico-Veterinaria. Director de Proyectos de investigación relacionados con la entomología médica, salud y educación. Autor de numerosos artículos científicos con publicaciones en revistas científicas y de ponencias en congresos nacionales e internacionales. Está categorizada por el Programa de Incentivos de la Secretaría de Políticas Universitarias. Es miembro de la Asociación de Profesores de Biología de la

Argentina (ADBiA) y de la Sociedad Entomológica Argentina. Miembro del Consejo de Escuela de Biología ( F.C.E.F.N.; U.N.C.) y del Consejo Editor de la Revista *Educación en Biología*.

**Dra. Mónica L. Gallino**, se desempeña actualmente como Vicedirectora del Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Es Licenciada y Doctora en Ciencias de la Educación (UCC). Actualmente es Profesora Titular de la Cátedra de Pedagogía en el Profesorado de Ciencias Biológicas (FCEFyN- UNC) y Adjunta a la Dirección del Departamento Pedagógico de la Facultad de Educación a Distancia del Instituto Universitario Aeronáutico (IUA). Su campo de trabajo se enmarca en el área de formación de formadores, en el ámbito del aprendizaje virtual y el diseño de materiales multimedia a fin de mejorar el proceso de aprendizaje y las estrategias docentes. Está categorizada por el Programa de Incentivos de la Secretaría de Políticas Universitarias.

Es autora y coautora de diversas publicaciones en el ámbito pedagógico y de tres libros, uno por la UNC y dos por IUA.

## Palabras de apertura

### Enfoques y ejes de los contenidos de biología y didáctica

*Si un hombre mantiene vivo lo viejo y reconoce lo nuevo, puede,  
eventualmente, enseñar.*

**Confucio**

#### *A modo de presentación del "Curso Genética y Evolución"*

Esta introducción tiene como propósito iniciar la comunicación entre los autores y los docentes que participan de esta capacitación a distancia. Para ello, se les presenta un organizador previo de los conceptos involucrados en la problemática de genética y evolución y al mismo tiempo, se introducirá la perspectiva didáctica que fundamenta las estrategias para el tratamiento de los contenidos y actividades en este módulo y también las sugerencias que realizamos para la transferencia a la realidad del aula en el nivel polimodal.

Desde lo conceptual pretendemos transferir una visión amplia de la vida y su continuidad, desde la doble perspectiva de **lo estable y lo cambiante**, en cada uno de los niveles de organización.

Desde lo didáctico deseamos ofrecer una visión actualizada de didáctica de la biología con eje en su epistemología particular.

Desde la organización didáctico disciplinar, en cada capítulo usted podrá encontrar una "Introducción" que lo contextualizará en la temática a abordar; luego, iniciando cada uno se desarrollan las "Aproximaciones didácticas" relativas al tema; los "Contenidos de biología" se explican a partir de interrogantes ejes, que funcionan como el hilo conductor de los focos de estudio y sus relaciones. Cerramos, cada capítulo con "Otras aproximaciones didácticas" poniendo énfasis en la transferencia al aula de los contenidos de biología tratados.

En el desarrollo de cada capítulo, incluimos, bajo el título "Actividades de aprendizaje", espacios de recuperación de conocimientos previos y su valoración e incidencia en la enseñanza y el aprendizaje, actividades multivariadas y sugerencias didácticas, análisis de situaciones y reflexiones prácticas, lecturas complementarias y sitios *web* que, seguramente, lograrán potenciar su proceso de aprendizaje.

Asimismo, presentamos ilustraciones que será conveniente usted observe atentamente, ya que completan las explicaciones sobre los conceptos, los procesos y los fenómenos desarrollados y de este modo facilitan su reconstrucción.

Al final de cada capítulo se encontrará con las “Actividades de autoevaluación”, que a modo de síntesis integradora lo invitan a regular su propio proceso de aprendizaje y la “Clave para las respuestas” le ofrecen información de retorno para avalar su trabajo y autogestión de los aprendizajes.

### *Concepciones generales del plan de trabajo propuesto*

A lo largo de todo el trayecto que represente este curso, abordaremos contenidos sobre la dinámica de la constancia y el cambio, de la conservación de los caracteres hereditarios y de su evolución. El tratamiento de los contenidos antes mencionados requiere estrategias para su enseñanza que nos permitan conjugar la doble perspectiva.

#### **¿Por qué la doble perspectiva de la constancia y el cambio?**

Un tratamiento taxonómico no nos serviría para nuestro propósito, por ello organizamos la propuesta a partir de conceptos y preguntas estructurantes, cuya respuesta se concreta en la explicación de los aspectos estructurales y funcionales que se mantienen constantes y en los cambios que estos sufren. Esta elección intenta abandonar el tradicional estudio de la biología como un cúmulo de hechos que “sólo describimos”. Por ello, desde lo didáctico, sostendremos la **coexistencia entre enfoques descriptivos, históricos, comparativos, sistémicos e hipotético deductivos**, a partir de los cuales iremos incorporando los conceptos y modelos que conforman el actual cuerpo teórico de esta ciencia. Estamos convencidos de que si usted conoce la estructura general de la teoría en biología, le será fácil elaborar un conjunto de preguntas para interactuar con sus estudiantes y construir conocimiento científico en sus aulas.

Los **conceptos estructurantes** (CE; Gagliardi, 1986) servirán de guía en el desarrollo del material. Entendemos que dichos conceptos nos permitirán ir construyendo los conocimientos de forma organizada, adquirir otros nuevos, jerarquizar los que ya tenemos y resignificarlos en forma no arbitraria, ni impuesta, ni yuxtapuesta.

Hace algún tiempo Piaget (1969) nos explicaba que los conocimientos biológicos llevan consigo dos dimensiones: la sincrónica y la diacrónica. La primera, corresponde a la noción de organización de estructuras y funciones y nos conduce al análisis de la diversidad. La segunda, corresponde a la noción de evolución o desarrollo y aborda las transformaciones temporales de las estructuras en un doble sentido, ontogenético y filogenético. Además, sabemos que ambos tipos de conocimiento han sufrido

transformaciones e interpretaciones diferentes a lo largo de la historia, quizás muy descriptivas en sus inicios.

El estudio de un ser vivo lo podemos hacer, como tradicionalmente se hace, desde una perspectiva descriptiva de sus aspectos estructurales y funcionales. Si agregamos, en cambio, la variable temporal (diacrónica) y nos preguntamos sobre el sentido de ese desarrollo y en qué etapa del mismo se encuentra, vemos que algunos aspectos se mantienen constantes y otros varían. Cualquiera fuera el nivel de organización -por ejemplo un individuo o una especie- será evidente que tanto las constancias como los cambios tienen su explicación en la dinámica de la transmisión de la información genética.

De lo anterior se desprende la idea de que el estudio de la biología requiere tener en claro por un lado, desde qué **nivel de organización** abordamos su análisis y, por el otro, comprender que hay **aspectos constantes y otros que cambian** en función del desarrollo y las interacciones que se producen.

**La constancia** en los seres vivos se manifiesta claramente en la transmisión a los descendientes de caracteres de los progenitores; esta constancia permite conservar las particularidades que hacen posible la vida. Esto ocurre gracias a la capacidad de replicación del material genético. La importancia biológica de esta constancia es que todos los procesos biológicos dependen de la transmisión a partir de las generaciones anteriores. La universalidad de las funciones biológicas encuentra en esto un ejemplo de la unidad de la vida y del posible antepasado común.

Por otro lado, **la variación** corresponde a la ocurrencia de diferencias genéticas en los distintos niveles: molécula, célula, individuo y población. Así, por ejemplo, a nivel molecular la replicación de la información sufre cambios o mutaciones y esta variabilidad genética es fuente de evolución.

Es importante entonces que recuperemos **las características epistemológicas de la biología** que contemplan la doble perspectiva.

### *Los interrogantes, ejes de cada etapa de este Curso*

Le presentamos a continuación un diagrama con los interrogantes que iremos respondiendo en este “Curso de genética y evolución”:

## **MODULO I - Genética**

**¿CUÁL ES LA ESTRUCTURA Y LA DINÁMICA DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA?**

**A nivel molecular (Capítulo 1)**

**A nivel celular (Capítulo 2)**

**A nivel individuo (Capítulo 3)**



**Capítulo 4**

**¿CÓMO SE TRANSMITEN LOS CARACTERES HEREDITARIOS  
DE UNA GENERACIÓN A LA SIGUIENTE?**



## **MODULO II - Evolución**

**Capítulo 1**

**¿CUÁL ES LA DINÁMICA DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA A  
NIVEL POBLACIONAL?**



**Capítulo 2**

**¿CUALES SON LAS ESTRATEGIAS DE LA EVOLUCIÓN?**



**Capítulo 3**

**¿CUÁL FUE EL RECORRIDO DE LA VIDA A LO LARGO DE LA  
EVOLUCIÓN?**

### **Esta propuesta y su relación con los contenidos a enseñar en el polimodal**

A lo largo de la Educación General Básica sus alumnos han compartido el desarrollo de contenidos conceptuales relacionados con la biodiversidad, la ecología, el estudio del hombre y una primera aproximación a los mecanismos por los cuales la

vida se perpetua y cambia. Como propósito para ese nivel es *“la adquisición de una formación humanística científica y tecnológica adecuada para mejorar los códigos y contenidos culturales del mundo actual, para poder operar comprensiva y equilibradamente sobre la realidad material y social, y para mejorar la calidad de vida”* (Tomado de CBC, 1995).

Seguramente una conceptualización general pero muy importante que ya tienen sus alumnos es que la vida es diversa en sus diferentes niveles de organización: ecosistemas, comunidades, poblaciones, especies, hasta en el nivel molecular (ADN).

Para la naturaleza la diversidad es un valor de supervivencia ya que *“la selección natural actúa gracias a la inmensa diversidad que existe en una población dada, como reflejo de su diversidad genética y de la capacidad de sus individuos de responder a las nuevas condiciones del medio que los rodea. La diversidad genética presente en las poblaciones naturales y la diversidad de especies dentro de la comunidad han permitido la supervivencia de los mismos en diferentes circunstancias cambiantes del medio, como inundaciones, glaciares, calentamiento de la atmósfera, etc.”* (di Tada y Bucher, 1996). Es decir que hay causas internas y externas a los seres vivos que permiten explicar las continuidades y los cambios de las diferentes formas de vida.

Por eso para el nivel polimodal se enfoca *“el estudio de la vida como proceso de continuidad y cambio que supone profundizar las bases moleculares y genéticas de la vida, incorporando contenidos provenientes del campo de la física y la química. El análisis de la estructura de los ácidos nucleicos, los procesos de replicación y transmisión de la información, así como los cambios que dichos materiales pueden experimentar, permitirá comprender con mayor profundidad el origen, la conservación y la evolución de la vida”*. (Tomado de CBC, 1995).

Es el propósito de la educación científica para este nivel: *“presentar a los jóvenes concepciones científicas actualizadas del mundo natural y proponer aprendizaje de estrategias de trabajo centradas en la resolución de problemas que aproxime a los alumnos al trabajo de investigación de los científicos”*. (Tomado de CBC, 1995).

En relación con el propósito anterior, en el marco del currículum escolar se pueden secuenciar los contenidos (CBC para EP) del bloque 1 *“la vida y sus propiedades”* y más particularmente del sub-bloque *“la vida, continuidad y cambio”* en dos sentidos diferentes:

explicar primero las teorías sobre el origen de la vida y de la evolución, como una visión macroscópica que motive el análisis de las causas a nivel molecular, o

elaborar las explicaciones a nivel molecular primero, para poder entender después, en su verdadera dimensión, el proceso de evolución y origen de la vida.

En este curso hemos tomado el criterio de desarrollar las explicaciones moleculares como base de los fenómenos de genética y evolución. Creemos que para su capacitación es lo mejor. No obstante, cuando usted diseñe las unidades didácticas para sus alumnos puede elegir el otro sentido. Abordaremos como hacerlo.

La secuencia de contenidos que vamos a presentar no es prescriptiva, por el contrario se basa en una idea de “flexibilidad curricular”, ya que puede permitir, con sus diferentes orientaciones, concreciones distintas acorde con la realidad socio-institucional en la que usted trabaja. Más adelante profundizaremos estos conceptos desde la didáctica.

### *Sobre la didáctica que propiciamos*

Partimos de la idea de que la formación docente del profesor de biología, debe permitirle la construcción de saberes teóricos y prácticos tanto del campo disciplinar, cuanto de la enseñanza y el aprendizaje de dicho objeto de conocimiento. Desde este marco la didáctica se ubica como un espacio de construcción de saberes específicos y de reflexión que permite generar criterios de análisis y de toma de decisiones hacia las prácticas.

Formar docentes críticos y creativos, como aspira la reforma, requiere una visión de didáctica centrada en la reflexión, el análisis y la investigación de la multidimensionalidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje, más que en una disciplina instrumental y prescriptiva. Por ello, coincidimos con aquellos que definen a la didáctica **como la ciencia de la comunicación de los conocimientos y de sus transformaciones**.

Tomaremos como objeto de estudio de la didáctica “el juego de interrelaciones y negociaciones entre docente y alumnos, a través de la circulación de determinado objeto de conocimiento y en el marco de contextos personales e institucionales cambiantes”.

En este momento la didáctica de las ciencias ya es un área de investigación, con contribuciones a un marco teórico propio.

### **Un poco de historia de la didáctica de las Ciencias Naturales**

Desde mediados de los años cincuenta comienzan en diferentes países del mundo movimientos para reformular los currículum de Ciencias Naturales y analizar su inserción en la sociedad, tecnológicamente en progreso. En los Estados Unidos, en particular, después del lanzamiento del primer satélite artificial ruso "Sputnik" -en 1956-, se origina una reacción cuyo objetivo fue enseñar bien la ciencia a toda la población escolar a fin de dar apoyo y de hacer posible el desarrollo tecnológico de los años futuros. Por los años 60, en Inglaterra y más tarde en Francia, Italia y España, se proponen programas y diseños curriculares con una preocupación esencial en la

formación de profesores, dando nacimiento a una comunidad científica particular conformada por docentes, científicos y pedagogos. Ellos elaboraron programas de investigación y formación docente. A fines de los años 70 tiene lugar el reconocimiento de la didáctica de las Ciencias Naturales como área de investigación y por ende una visión más clara de su objeto de conocimiento. El movimiento anterior es coincidente con un cambio de orientación en los currículum de Ciencias Naturales tendientes a superar la dicotomía, creada en los años 60, entre conceptos y procesos científicos, entre los aspectos semánticos y sintácticos de las disciplinas. Cambia también el objeto de estudio de la didáctica de las Ciencias Naturales, centrándolo en el juego de relaciones entre los tres elementos básicos de la situación didáctica: docente-alumno-objeto de conocimiento. Los principales problemas estudiados son: preconcepciones, interacción áulica, lenguaje científico, modelos didácticos para la producción del cambio conceptual, tramas conceptuales, los obstáculos epistemológicos, el contrato didáctico, las situaciones didácticas, las variables didácticas, etc. El análisis de estos problemas recibe la influencia de tres áreas temáticas: la epistemología de las Ciencias Naturales, la psicología y, más tarde, la sociología.

En la conceptualización de esta nueva didáctica de las Ciencias Naturales influyen los análisis de la "nueva epistemología" que supera los aportes del positivismo, como son los de Kuhn, Lakatos, Feyerabend y Toulmin. Consecuentemente se ponen en duda algunos presupuestos de las reformas curriculares de tipo inductivista. También desde la psicología del aprendizaje, surgen marcos teóricos que cuestionan algunos supuestos que inciden en las decisiones didácticas como los de la vieja escuela conductista. Con los aportes de una "psicología cognitiva" se entra en el análisis del mundo de los significados personales y su incidencia en el aprendizaje y la enseñanza.

El currículum es concebido como un conjunto de experiencias más que una secuencia de contenidos a ser transmitidos, pasando de posturas cerradas a diseños abiertos, procesuales y posibles de reformulación. Importa "el sentido" de cada situación de enseñanza-aprendizaje para cada individuo y cómo construye versiones cada vez más cercanas a las concepciones de los científicos.

Se suma a lo anterior el hecho de que la enseñanza de la biología está pasando por una nueva etapa signada por los recientes descubrimientos a escala molecular. Esto demanda a los docentes de esta disciplina un modelo de enseñanza que recupere la investigación científica, sus hallazgos y su proceder. Se suma a la responsabilidad de "hacer ciencia", a la de "hablar de ciencia" en nuestras aulas.

### *Principales ideas sobre la visión de biología que le presentamos*

Esta tomada del prefacio del libro "El azar y la necesidad" (1970) del premio Nobel Jacques Monod. La misma aporta una de las primeras perspectivas modernas de la biología, basada en la genética y la evolución:

"La biología ocupa, entre las ciencias, un lugar a la vez marginal y central. Marginal en cuanto que el mundo viviente no constituye más que una parte ínfima y muy 'especial' del universo conocido, de suerte que el estudio de los seres vivos no parece poder lograr jamás la revelación de unas leyes generales, aplicables fuera de la biosfera. Pero si la ambición última de la ciencia entera es fundamentalmente, como creo, dilucidar la relación del hombre con el universo, entonces es justo reconocer a la biología un lugar central puesto que es, entre todas las disciplinas, la que intenta ir más directamente al centro de los problemas que se deben haber resuelto antes de poder proponer el de la «naturaleza humana», en unos términos que no sean metafísicos.

Así, la biología es, para el hombre, la más significativa de todas las ciencias; es la que ha contribuido ya, sin duda, más que ninguna otra, a la formación del pensamiento moderno, profundamente cambiado y definitivamente marcado en todos los terrenos: filosófico, religioso y político, por el advenimiento de la teoría de la evolución. Sin embargo, por segura que estuviese desde el fin del siglo XIX de su validez fenomenológica, la teoría de la evolución, aunque dominando la biología entera, permanecía como suspendida mientras no se elaborara una teoría **física** de la herencia. La esperanza de conseguirla rápidamente parecía casi quimérica hace treinta años a pesar de los éxitos de la genética clásica. Sin embargo, es esto lo que hoy aporta la teoría molecular del código genético. Interpreto aquí la "teoría del código genético" en un sentido amplio, para incluir no solamente las nociones relativas a la estructura química del material hereditario y de la información de lo que es portador, sino también los mecanismos moleculares de expresión, morfogenética y fisiológica de esta información. Definida así, la teoría del código genético constituye la base fundamental de la biología. Lo que no significa, desde luego, que las estructuras y funciones complejas de los organismos puedan ser deducidas de la teoría, ni siquiera que sean siempre analizables directamente a escala molecular. (No se puede predecir ni resolver toda la química con la ayuda de la teoría cuántica, que sin duda constituye, no obstante, la base universal).

Pero si la teoría molecular del código no puede hoy (y sin duda no podrá jamás) predecir y resolver toda la biosfera, constituye desde ahora una teoría general de los sistemas vivientes. No había nada parecido en el conocimiento científico anterior al advenimiento de la biología molecular. El "secreto de la vida" podía entonces parecer inaccesible en su mismo principio. Hoy está en gran parte develado. Este considerable acontecimiento parece influir enormemente en el pensamiento contemporáneo desde el momento en que la significación general y el alcance de la teoría fuesen

comprendidos y apreciados más allá del círculo de los especialistas puros. Espero que el presente ensayo contribuya a ello. Antes de que las nociones mismas de la biología moderna, es su 'forma' lo que he intentado destacar, así como explicar sus relaciones lógicas con otros terrenos del pensamiento."

### *Una didáctica en relación con la visión de la biología que le presentamos*

La idea síncretis anterior nos plantea todo un desafío a la hora de planificar los contenidos de didáctica de la biología. Creemos que la mejor forma de hacerlo es respondiendo algunas preguntas a través del desarrollo de diferentes temas. Los mismos formarán parte de la etapa inicial de cada capítulo y la llamaremos "Aproximaciones didácticas" y del final, con el nombre de "Otras aproximaciones didácticas". Como los temas se van retomando en la sucesión de capítulos a continuación le comentamos cuáles son los cuestionamientos que proponemos contestar desde una didáctica para la visión de la biología que pretendemos transmitir:

#### **¿Qué fundamentos requieren las decisiones que toman los docentes al comunicar y transformar los conocimientos de biología en el aula?**

Para responder esta pregunta mostraremos el cambio desde una propuesta tradicional normativa a una aproximativa constructiva; que rompe con la visión simplista de la ciencia y de su enseñanza y su aprendizaje, y produce una adecuada transposición en el marco de la actual filosofía de las ciencias. Profundizando en los modelos constructivistas se verá la función de las ideas previas y la relación entre conocimiento cotidiano científico y académico. Se inicia la presentación sobre los temas de la reconstrucción del proceder en ciencias para enseñar ciencias. En ese contexto, se incluyen la recuperación de aspectos epistemológicos e históricos de las ciencias para el planteo de discusiones sobre el rol de las teorías, modelos y diseño de experimentos. (capítulos 1 y 2).

#### **¿Cómo planificar unidades didácticas innovadoras?**

Comenzando por el análisis de la situación didáctica y las variables que la condicionan, veremos qué contenidos interactúan en ella, cómo el docente es el mediador fundamental de su transposición y cuáles son los saberes que debe construir. Considerando la unidad didáctica como hipótesis de trabajo, analizaremos los criterios para seleccionar y organizar los contenidos, así como sus diferentes niveles de concreción. Veremos cómo las decisiones anteriores están condicionados por la relación ciencia-tecnología-sociedad (capítulos 3 y 4).

#### **¿Cómo abordar una enseñanza de las ciencias por construcción e investigación?**

Le presentaremos estrategias **metodológicas** que permitan "hacer ciencia" en el aula, desde diferentes modelos de enseñanza. Se verán los distintos tipos de

actividades en cada modelo, que permiten el desarrollo de destrezas cognitivas relacionadas con el razonamiento científico y de destrezas experimentales relacionadas con la resolución de problemas; así como la construcción de conceptos en el marco de las teorías y experiencias, de su historia y de las ideas previas de los alumnos. Acompañaremos la problemática anterior con el desarrollo de un tema que ha cobrado importancia actualmente en el ámbito de la didáctica de las ciencias: la comunicación (capítulos 5 y 6).

### **¿Cómo valorar si hacemos y comunicamos ciencia en el aula?**

A modo de tema integrador presentamos la evaluación como reguladora de los aprendizajes y de la enseñanza. Le brindamos un conjunto de criterios para que usted pueda analizar no solo el aprendizaje de sus alumnos, sino también su proceso de diseño y de enseñanza (capítulo 7).

Y como cierre de esta primera orientación y para adentrarnos en la tarea, le invitamos a reflexionar sobre la esencia de la acción educativa...

*“Nunca podremos reclamar haber alcanzado un conocimiento definitivo de nada”*

**Gregory Bateson**

## **Bibliografía de la apertura**

Di Tada, I. E. y Bucher, E. H., *Biodiversidad de la Provincia de Córdoba, Vol. I Fauna*. Río Cuarto, Ed. UNRC, 1996.

Gagliardi, R., Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*. Vol 4 (1), pp. 30-35, Barcelona, 1986.

CBC, Ministerio de Cultura y Educación de la Nación, *Contenidos Básicos Comunes*. Buenos Aires, MEC Segunda Edición, 1995.

Piaget, J., *Biología y Conocimiento*. Madrid, Siglo XXI, 1969.

## Capítulo 1 : La información genética a nivel molecular

### Introducción

Comenzamos el desarrollo de los contenidos del curso a partir del análisis de las estructuras microscópicas y su dinámica, con el fin de consolidar las bases genéticas que nos permitirán comprender el proceso de evolución. En este sentido, los contenidos conceptuales de biología que abordamos en este capítulo 1 (el nivel molecular de la información hereditaria y cómo fue la historia de su descubrimiento), están presentados a modo de interrogantes, conformando un hilo conductor histórico en el desarrollo de estos temas. Por ello, desde la didáctica los aportes están dirigidos a presentar fundamentos que permitan identificar la manera en que se construye el conocimiento y el abordaje de la historia como estrategia para recuperar y recrear dicho proceso.

Como usted podrá observar, a medida que avance en el desarrollo de los contenidos, se pretende realizar un abordaje integrador entre los contenidos conceptuales de la biología y su tratamiento desde la didáctica.

En síntesis, el **propósito** de este capítulo es presentarle el análisis de las bases moleculares de la vida para que adquiera las conceptualizaciones fundamentales y reconozca la importancia de su tratamiento desde una perspectiva histórica.

*La ciencia avanza lenta, muy lentamente,  
arrastrándose de un punto a otro.*

**Tennyson**

## Aproximaciones didácticas

### Sobre la naturaleza de la ciencia y su enseñanza

Los grandes cambios científicos, sociales y educativos ocurridos en los últimos treinta años han incidido en el avance de la didáctica de las ciencias experimentales (biología, física, química y geología). Para biología en particular, influyen los nuevos conocimientos, los cambios sociales generados por los avances tecnológicos y las problemáticas ético sociales que de ellos se derivan.

También ha cambiado la forma de entender la enseñanza y el aprendizaje de estas disciplinas. Entre las nuevas orientaciones señaladas para la educación secundaria en ciencias, se indica la necesidad de pensar en:

- Seleccionar objetivos, actividades y contenidos que le den un carácter funcional al conocimiento, permitiendo que este surja de la respuesta a problemas e interrogantes y desde los conocimientos previos de los estudiantes.
- Integrar en el currículo y en los aprendizajes los aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales de la disciplina, en el marco de un diseño flexible y con eje en las actividades. Lo anterior requiere atender a la diversidad del grupo humano, como factor que enriquece la práctica (más que como obstáculo).
- Implementar estrategias de enseñanza que dejen explícita la concepción de cómo se aprende, cómo se enseña, y que valoren los procesos de comunicación en el aula como factor que ayuda al aprendizaje.
- Visualizar el aula como un espacio dinámico, con perspectivas variables pero acorde con la actividad.

Estas orientaciones cobran sentido en el marco de situaciones de enseñanza y aprendizaje que recreen la epistemología de la disciplina, de allí la necesidad de reflexionar y detenerse en la resignificación del quehacer educativo.

A medida que desarrollemos los aportes didácticos en los distintos capítulos iremos ampliando y profundizando las generalizaciones anteriores.

La postura didáctica que sostendremos es aquella que estudia la comunicación y transformación de los saberes en el aula. Por ello, antes de analizar cómo se transforman los conocimientos científicos en el marco de determinadas estrategias de enseñanza, es necesario, como docentes de ciencia, tener en claro **qué es la ciencia**, ya que de la respuesta a esa pregunta dependerá **lo que enseñemos y cómo lo enseñemos**.

### ¿Cómo se genera el conocimiento científico?

A lo largo de la historia ha ido cambiando la concepción respecto de cómo se genera el conocimiento científico y esto ha influido en las decisiones sobre su enseñanza. Es por ello que se han incorporado a los debates de la enseñanza de las ciencias los aportes de la filosofía de la ciencia. Si bien un profesor de ciencias no puede abarcar en su formación las especificaciones de esta área, es necesario retomar algunos elementos como fundamento para su tarea.

Como sabemos en el siglo XIX se han producido una serie de afirmaciones teóricas que revolucionaron el mundo y tuvieron bases en las investigaciones de biólogos, físicos y químicos. Para biología en particular Charles Darwin, Adreu Wallace y Gregor Mendel ocasionaron grandes cambios en esta disciplina con sus teorías de la evolución, selección natural y genética.

Paralelo a la producción del conocimiento de estos científicos, como de otros anteriores y posteriores, se desarrolla una filosofía sobre este tipo de saber y consecuentemente una visión de ciencia. Para ellos estaba centrada en la idea de que desde las especulaciones teóricas se generaban las observaciones. Pero esto no fue siempre así.

Un rápido repaso histórico nos permite observar que si bien se señala el nacimiento de las ciencias en el siglo XV, lo que ocurre en los siglos XVI y XVII es lo que nos brinda elementos para el análisis de la concepción de ciencias que trascienden al ámbito educativo.

En dichos siglos se dan movimientos científicos vinculados al **empirismo**. Su aspecto más revolucionario lo constituyó el énfasis en la experimentación como base para la construcción de los nuevos conocimientos. El **método científico** se estableció como un conjunto de reglas de validez universal que permitía, fundamentalmente a través del análisis de los hechos, la experimentación y la observación, inferir las conclusiones y las explicaciones científicas. Dicha observación se suponía **objetiva**, es decir que no estaba afectada por la mediación del observador. La ciencia se basaría principalmente en los registros de los que se podía principalmente ver, tocar u oír. De esta forma, se genera una visión inductivista ingenua del conocimiento, que influye notoriamente tanto en las investigaciones científicas como en los métodos de enseñanza.

En esos tiempos se puso énfasis en el desarrollo de reglas lógicamente coherentes que indicaran cómo se podrían derivar enunciados teóricos de los enunciados observacionales.

Tanto la separación entre la observación y la teoría como la aplicación de la lógica para comprobar y justificar la teoría (dejando de lado la posibilidad de crear teoría), fueron los dos elementos que influyeron o se trasladaron a las propuestas para enseñar ciencias.

**¿Cuáles son las principales derivaciones de esta postura en el campo de la educación en ciencias?**

Justamente la principal derivación consiste en pensar que todo conocimiento y teoría se deriva de la observación y experimentación, que los conocimientos -producto de las generalizaciones a las que se arriba- son neutrales y de validez universal. Además, supone entender al método científico como un conjunto de reglas fijas y cuya aplicación caracteriza a la investigación.

Numerosos investigadores en didáctica de las ciencias señalan que todavía hoy, esta imagen de ciencia es la que está presente en textos, currículum y clases. Por ello se debe comprender que la inducción es inadecuada para describir el método científico, y los métodos de aprendizaje por descubrimiento (en el sentido antes explicado) favorecen una imagen distorsionada de qué es ciencia y cómo se hace.

Como expresa Duschl (1997) *"se orienta a los estudiantes a observar o 'descubrir' los fenómenos naturales y los conocimientos científicos sin comprender los conceptos o principios necesarios para ver y descubrir"*.

Siguiendo con la historia vemos que, si bien se mantiene la importancia de la comprobación mediante la experimentación, se cuestiona desde otras posturas su autoridad absoluta. Surgen así las posiciones de quienes forman parte de la nueva filosofía de la ciencia (**NFC**). Sus críticas comunes al empirismo se refieren a que las teorías y leyes no se derivan inductivamente de las observaciones, ellas se comprueban o refutan por la observación y la experimentación. De esta forma, **las teorías son las que preceden a la observación**.

Es inicialmente Popper quien hará hincapié en la posibilidad de refutación de los enunciados científicos, es decir, probar que una ley puede ser falsa. Así, contrastar una ley o teoría es tratar de refutarla, si no se logra, queda corroborada (no confirmada como hablaba el inductivismo) y pasa a pertenecer al campo de la ciencia.

Posteriormente Kuhn elabora un modelo de cambio de las teorías a través de revoluciones científicas. Para él una teoría no se abandona porque puede ser falsada, sino porque triunfa un nuevo paradigma sobre el anterior. Un paradigma determina tanto los problemas a investigar como los métodos, se refiere a modelos y concepciones teóricas compartidos por la comunidad científica. Así, un cambio de paradigma ocurre cuando aparece otro con mayor capacidad explicativa capaz de resolver problemas que el antiguo no pudo resolver.

Otra posición posterior al falsacionismo es la de Lakatos quien caracteriza a la ciencia a través del progreso en los programas de investigación.

Actualmente, *"la ciencia se origina en preguntas, en problemas a los que se busca solución; es una actividad cognitiva que trabaja con elementos como hipótesis, principios o teorías sujetas a comprobación o refutación. No puede utilizarse la verificabilidad como rasgo único de delimitación, y lo mismo podría decirse de otros*

*rasgos, pues en las distintas ciencias hay métodos de trabajo diferentes, pero si puede analizarse el perfil conjunto.” (Jiménez y Sanmartí, 1997).*

¿Cuáles son las principales derivaciones de esta postura en el campo de la educación en ciencias? Retomar la importancia de las teorías, fomentar el razonamiento hipotético, por confrontación y argumentación. Reconocer que la observación no es fiable y depende de la teoría. Tener una imagen de ciencia relativa y en permanente cambio, con historia y contexto. Relacionar lo conceptual con lo metodológico y admitir variaciones de este según el problema analizado. Tomar al conocimiento como algo que se construye y reconstruye en la escuela. Reconocer que las estructuras conceptuales que el alumno ya posee influyen en el trabajo observacional que hace. Repensar las estrategias de enseñanza por descubrimiento contextualizándola en una perspectiva constructivista.

En coincidencia con la postura de Duschl (1997) creemos necesario tener en cuenta el conocimiento de **la historia de las ciencias**. Nuestra comprensión de la investigación científica debería abarcar no solo los procesos de comprobación del conocimiento, sino también los procesos generadores de este. Es decir, hay una lógica que puede aplicarse al descubrimiento científico. En este sentido el autor señala dos caras o caracterizaciones relativas a la naturaleza de las ciencias:

la ciencia como un proceso de justificación del conocimiento (lo que sabemos);

la ciencia como un proceso de descubrimiento del conocimiento (cómo sabemos).

La primera caracterización domina la enseñanza contemporánea de las ciencias, se les presenta a los alumnos un cuadro incompleto, ya que se los hace participar de tareas diseñadas solo para mostrar lo que se conoce de ellas.

Lo que falta en la actualidad, en el currículo de ciencias, es diseñar la implementación de propuestas didácticas que trabajen sobre la otra cara, es decir el “cómo”.

Por ejemplo, reflexionar en biología cómo se llegó a conocer la manera en que se produce la herencia de caracteres o el proceso de evolución. Seguramente responder a esta pregunta nos conduce más allá del simple relato histórico como eje de nuestras clases.

Las teorías científicas, por ejemplo las de la evolución, son complejas y merecen un tratamiento más allá de su información lógicamente reordenada. Tenemos que tratar de entender su proceso de construcción.

De esta forma, las concepciones respecto de cómo enseñar ciencias están fuertemente influidas por la concepción de cómo se genera el conocimiento científico.

## A modo de síntesis

Podemos decir que se ha pasado, de caracterizar la ciencia por el método y una aplicabilidad universal de este (empirismo de los siglos XVI y XVII), a una visión de ciencia centrada en los modelos teóricos y programas (NFC) y definida actualmente como una actividad cognitiva.

A partir de las ideas anteriores se han definido finalidades para la enseñanza de las ciencias, relacionadas con las capacidades que deberían desarrollar los alumnos.

En principio, aprender los conceptos contextualizados en los modelos y teorías que le dieron origen. Es decir, aproximar cada vez más la interpretación de los fenómenos a los modelos que propone la comunidad científica.

Dicha interpretación requiere **desarrollar destrezas cognitivas y de razonamiento científico**, lo que previamente llamamos “hacer ciencias”. Ello se complementa con la necesidad de desarrollar **destrezas experimentales** relacionadas con los procedimientos y especialmente la resolución de problemas (como visión superadora del método científico estándar). Por último y en el marco de las actitudes, desarrollar un **pensamiento crítico** que posibilite opinar y tomar decisiones.

Todo lo anterior debería permitir construir una imagen de ciencia en permanente revisión, no neutral, con aplicaciones tecnológicas e inserta en una realidad socio-cultural.

Coherentemente con lo anterior los docentes deben organizar su enseñanza entendiendo el conocimiento como algo a construir y no como algo dado; favorecer la reconstrucción del conocimiento en el aula a través de la resolución de problemas, preparando programas de actividades, usando variedad de métodos y diseñando un currículum flexible que promueva la alfabetización científica.

Si bien iremos ampliando en otros capítulos las afirmaciones previas, ahora nos permiten justificar por qué en las actividades de este capítulo nos aproximamos al trabajo científico a través del análisis histórico. Se recuperará este aspecto para iniciar la discusión sobre el rol de las teorías, modelos y diseño de experimentos. Veremos la implementación de la historia en la enseñanza de las ciencias, retomando la delimitación y resolución de problemas, la elaboración de hipótesis, la reconstrucción de experimentaciones. Al mismo tiempo brindaremos elementos para la toma de conciencia sobre la importancia del tema del ADN, en particular el avance científico que implica, a su impacto social y a sus transferencias al campo de la ciencia, de la tecnología y de la salud.

Por eso antes de comenzar con el desarrollo de los temas específicos de biología, es conveniente que observemos algunas de sus repercusiones actuales:

- El genetista Nicolás Jouve de la Barreda, en su conferencia del II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales, realizado en Córdoba en septiembre de 2000, expresa:

“Los grandes descubrimientos en los 100 años de existencia de la Genética y el auge de la Biología Molecular, durante las últimas décadas, nos permiten conocer más y mejor los seres vivos. Los programas deben dirigirse no solo al análisis físico-descriptivo de los aspectos de adaptación al medio, motivos de estudio más abundantes en los textos de Biología en los últimos años, sino sobre todo hacia la organización y características del conjunto de sus genes, el genoma, y sus implicaciones funcionales, evolutivas, y sus potenciales aplicaciones prácticas en medicina, salud pública y agricultura. De esta forma estaremos contribuyendo a la formación de una sociedad mejor preparada para hacer frente a las decisiones políticas y a las demandas industriales y sociales en materia de legislación y bioética.

Es preciso abandonar la idea de que los avances en Genética y sobre todo su apoyo decisivo a la teoría de la evolución, son solo materia de satisfacción intelectual. Hay una serie de descubrimientos decisivos que aún sin una aparente relación entre sí, encajan perfectamente y permiten explicar dimensiones de los seres vivos que hasta hace poco nos parecían inabordables, y de los que además surgen importantes aplicaciones prácticas. Los descubrimientos en materia de Genética nos permiten conocer y comprender las bases de los fenómenos de la evolución y el desarrollo de los seres vivos, y nos han aproximado al entendimiento del propio fenómeno de la vida. El denominador común de esta nueva forma de entender la Biología, es el conocimiento de la organización del mensaje hereditario, y sus propiedades de replicación, recombinación, mutación y capacidad de expresión, mediante la codificación de otro tipo de biomoléculas, o la determinación de sus capacidades funcionales. En definitiva el ADN, se ha convertido en la referencia inevitable de casi toda interpretación básica o aplicada de los hechos que nos interesan de los seres vivos”

Como vemos, este autor recomienda, desde la visión de un investigador en genética, las decisiones curriculares que habría que tomar respecto de la enseñanza de la biología. Algunos indicadores de dichas decisiones son, por ejemplo, la gran cantidad de noticias –en diarios, revistas, etc.- que hablan del ADN. Este término ha pasado a formar parte del vocabulario cotidiano, quizás sin que la sociedad sepa con claridad de qué se trata.

Somos los docentes de biología quienes podemos, desde la institución educativa y desde nuestro proyecto curricular, participar de la “alfabetización científica” de nuestra comunidad para que este “término” se convierta en una “conceptualización”.

En los textos de la Reforma se encuentra, entre las finalidades para la enseñanza de las ciencias, la “alfabetización científica”.

- Otras repercusiones son las numerosas noticias que se editan. Compartamos a continuación la lectura de una noticia periodística que, como su título lo indica, es la noticia del año.

#### **LA VOZ DEL INTERIOR 24 DE DICIEMBRE DE 2000**

##### **Revolución genética, la noticia del año**

###### **Agencia AP**

Washington. *La espectacular revolución científica que posibilitó descifrar el código genético de vegetales, insectos, animales superiores y seres humanos ha sido calificada como “el avance del año” por los prestigiosos editores de la revista **Science**.*

*La compaginación de los mapas genéticos de distintos organismos “bien podría ser el avance de la década, quizá del siglo, por todo el potencial que tiene para modificar nuestra visión del mundo en que vivimos”, dice la publicación.*

*Science escoge cada año los logros científicos que sus editores consideran más significativos del año que concluye (2000).*

*La revista observa que los esfuerzos monumentales para trazar la secuencia genética de las moscas de la fruta, plantas, ratones, bacterias y seres humanos representa “la primera incursión de la biología en la ciencia del más alto nivel, y por cualquier vara de medida ha sido un gran éxito”.*

*En mayo de 1999, dice la revista, los investigadores habían completado la secuencia de bases del ADN de apenas una fracción de todo el patrón genético en el genoma humano. Para agosto del 2000, se había trazado la secuencia y archivado más de cuatro mil millones de pares de bases del ADN.*

*“Las nuevas técnicas en forma de mejores dispositivos automáticos de secuencias del ADN, como también la intensa competencia entre los esfuerzos públicos y privados, impulsaron esta aceleración”, agrega.*

#### **Competencia**

Durante el 2000 culminó la carrera para trazar la secuencia del genoma humano. Por un lado, estaba un consorcio gubernamental internacional encabezado por el Instituto Nacional de Investigación del Genoma Humano. Por otra había una compañía privada, Celera Genomics.

En una ceremonia en la Casa Blanca (U.S.A.) en junio, presidida por el presidente Bill Clinton, los líderes de ambos emprendimientos, el público y el privado, anunciaron conjuntamente que se había completado un borrador del genoma humano antes de lo programado.

“Hoy es un momento histórico en el registro de cien mil años de la humanidad”, declaró J. Craig Venter, presidente de Celera.

Francis Collins, director del programa del gobierno, dijo que el trazado del mapa genético humano significa que “hemos vislumbrado el libro de instrucciones que solamente conocía Dios hasta entonces”.

Los investigadores pronosticaron que el avance conducirá a métodos revolucionarios para producir nuevos medicamentos y terapias.

Ya se ha trazado el patrón genético completo de un gusano, la mosca de la fruta y una planta, además de cinco docenas de microbios, dice la revista. Y se está por completar el mapa del genoma del ratón, la rata y tres tipos de peces.

### **Proteínas**

En segundo lugar entre los logros del año, **Science** escogió los progresos en el estudio del ácido ribonucleico (ARN) dentro del ribosoma, la “fábrica” de proteínas en el interior de la célula. **Science** dijo que esos estudios revelan a los investigadores de qué modo se producen proteínas a partir de los aminoácidos, una acción clave de la biología.

El título del texto anterior atribuye a los descubrimientos sobre el mapa genético el carácter de “revolución científica”. Este término se acuña en el marco de la nueva filosofía de las ciencias (NFC). Como vimos fue Tomás Kuhn quien estableció un modelo de cambio de las teorías a través de dichas revoluciones.

Así, el nuevo descubrimiento, del que trata el artículo, pasará a formar parte del cuerpo de conocimiento de las ciencias y se integrará a programas de enseñanza de la Biología como consecuencia de un largo proceso de transposición del currículo que analizaremos más adelante.

## Contenidos de biología

### El material hereditario

#### *Introducción*

Comenzamos el estudio del ADN realizando una de las tareas fundamentales de un biólogo: observar desde la realidad. De la observación directa de los seres vivos o de sus imágenes, resulta evidente que todos los individuos de una especie tienen muchas características en común, justamente son las que permiten reconocerlos como tales. Sin embargo, la observación minuciosa de numerosos individuos de la misma especie hace que podamos preguntarnos ¿por qué no son iguales todos los individuos de una especie? (Nos referimos a individuos de seres vivos superiores que tengan reproducción sexual).

Por un juego de cambios y continuidades, a lo largo de la evolución, por un lado, los seres vivos transmiten a los descendientes rasgos que aseguran la conservación de las funciones vitales y, por otro, los individuos se diferencian, tanto por causas ambientales como genéticas, de tal modo que no hay dos iguales. Y si, a través de los fósiles, recorremos el tiempo geológico de la Tierra, reconoceremos a especies muy diferentes de las actuales que vivieron en épocas pasadas y que se han extinguido.

Si queremos comprender el origen de la sorprendente diversidad de los seres vivos que existen sobre la Tierra, incluyendo el origen de la vida, y todos los mecanismos de la herencia, debemos conocer en detalle el flujo de la información genética. Así tendremos la clave para entender la maravillosa posibilidad de los seres vivos: conservar la vida y transmitirla, y cambiar hacia adaptaciones cada vez más avanzadas.

El ADN (ácido desoxirribonucleico) ha sido una palabra clave, al principio, para los primeros biólogos moleculares y luego para la biología en general. Hoy es una palabra corriente en medicina, en los tribunales, en el mercado financiero, en los medios de difusión...

Es imposible entender fenómenos tan variados como, por ejemplo, las enfermedades hereditarias, las adaptaciones de los seres vivos y los mecanismos de la evolución sin conocer con claridad el flujo de la información genética. El secreto de la vida está inscripto en él.



### *Un aporte para el aula*

*A partir de una actividad muy simple podemos realizar una primera aproximación a la comprensión del fenómeno de la continuidad y el cambio en los seres vivos, diseñando situaciones didácticas que permitan a los alumnos visualizar la transmisión de caracteres de un descendiente a otro. En este caso proponemos utilizar un recurso accesible como son las fotografías.*

*Invite a sus alumnos a seleccionar fotos de diferentes especies, fotos de distintos individuos de la misma especie, fotos de fósiles y de especies actuales relacionadas con ellos.*

*Luego de compararlas para determinar sus diferencias y afinidades explique, desde allí, la continuidad y el cambio. A medida que los alumnos clasifican las imágenes según semejanzas y diferencias, es interesante plantear el interrogante sobre las causas que las provocan. De esta forma se harán explícitos conceptos previos sobre diversidad, adaptación o genética.*

*Asimismo, podemos plantear otra pregunta como la siguiente: ¿cuál es el elemento que posibilita la conservación de los caracteres que garantizan las funciones vitales de los seres vivos y los cambios que acabamos de citar, a nivel específico o individual?.*

*Finalmente, podrá despertar la curiosidad y el interés por conocer qué es el material genético y qué variaciones mayores o menores del ADN diferencian unos individuos de otros, o unas especies de otras, sea cual fuere la época en la que vivieron.*



### *Un aporte para el aula*

La información que figura en bastardilla es una idea síntesis inicial y requiere que ampliemos cada uno de los conceptos que incluye. En general, estas ideas sirven de organizador previo y es conveniente retomarlas después del desarrollo.

El reconocimiento que la información genética reside en el **ADN** y, de allí la información es transmitida al **ARN**, para que a partir de este se formen las **proteínas**, se ha constituido hoy en lo que se conoce como el “dogma” central de la biología molecular.

La biología debió transitar un largo camino que ha ocupado los trabajos de numerosos científicos más allá de la primera mitad del siglo XX. Vale la pena recorrer, como haremos enseguida, el derrotero de las investigaciones que buscaban contestar varias preguntas básicas sobre el material hereditario.



## ACTIVIDAD N° 1

Como dijimos, en la actualidad los conocimientos científicos han dejado de considerarse como una actividad neutral a cargo de científicos objetivos e infalibles, quienes determinan cuál es el conocimiento verdadero y universal. Se definen los conocimientos como productos de una actividad social e históricamente condicionada, llevada a cabo a través de diferentes estrategias metodológicas.

La educación en ciencias recomienda recrear los procesos de investigación, y realizar el análisis histórico, a fin de vivenciar y comprender el camino que recorrió la producción del conocimiento científico. Al mismo tiempo, recomienda sacar a luz nuestras concepciones sobre estos procesos. La siguiente actividad tiene como propósito analizar la visión de ciencia presente en los textos que se utilizan frecuentemente y la que se explicita en la práctica áulica cotidiana.

La actividad que le propondremos, más allá de ser útil a la hora de permitirle identificar y reflexionar acerca de su propia concepción de ciencia, lo puede orientar en la selección de los recursos con que trabaja. Por ejemplo, los libros de texto, los artículos periodísticos o las películas que tenga a su alcance. Estos pueden contradecir la imagen de ciencia que usted desea transmitir. El alumno debe visualizar la coherencia entre la propuesta didáctica y los materiales de estudio.

1. Vuelva a leer las aportaciones didácticas iniciales.
2. Revise alguno de los libros de texto sobre genética y evolución que habitualmente se suelen recomendar a los alumnos. Señale con qué frecuencia en ellos se hace referencia a la historia de la ciencia para comprender un contenido conceptual o procedimental. Para guiar su análisis, tenga en cuenta: ¿se informa sobre los contenidos o se los problematiza?, ¿se contextualizan los hallazgos en el marco de las teorías?, ¿presentan los interrogantes fundamentales que se fue haciendo la ciencia?, ¿aparece esta como una fuerza productiva, fruto del trabajo colectivo y a menudo marcada por controversias?
3. Por otro lado, identifique en los libros de texto que utilizan habitualmente los alumnos, la presencia de actividades que permitirían recrear el proceder en el descubrimiento y la indagación de dichos temas. Si identificó alguna, haga una valoración de la utilidad de dichas actividades.

## ¿Qué molécula es el material hereditario?

Los científicos investigan en función de preguntas que se van planteando y uno de los cuestionamientos principales del siglo XX fue el que aparece en el título anterior.

El siglo XX pasó a la historia de la ciencia por ser el siglo en que se descubrió, en gran medida, cómo se conserva, se transmite y cambia la información genética.



### *Un aporte para el aula*

Contestar esta pregunta supone tener los siguientes conocimientos previos: **teoría celular, proteínas, enzimas, polipéptidos.**

Pero en realidad, los ácidos nucleicos se descubrieron mucho antes, en épocas donde se investigaba sobre la materia viva y especialmente sobre las proteínas.

Muchas veces las respuestas que buscan los científicos están en explicaciones realizadas en épocas anteriores enmarcadas en las respuestas a otras preguntas, más significativas para ese momento histórico y social. Es por ello que la ciencia, es decir, la producción de conocimientos, no recorre un camino lineal como a veces lo presenta la historia de la ciencia.

Si hubiéramos vivido en 1868, nos podríamos haber preguntado, por qué Johann F. Miescher -un médico suizo-, recogía células de pus de heridas abiertas y de esperma de peces. Quería identificar la composición química del núcleo y por eso usaba estos tipos de células que tienen muy poco citoplasma, lo cual hace que sea más fácil aislar el material nuclear para su análisis.

Así, Miescher tuvo éxito en aislar un compuesto orgánico con propiedades ácidas, al que llamó nucleína, que a diferencia de otros compuestos celulares, tenía una gran cantidad de fósforo. Si bien el investigador buscaba conocer más sobre el núcleo de las células él no sabía que había descubierto lo que muchos años después se denominaría ácido desoxirribonucleico (ADN).

Este hallazgo no fue tan importante en su momento ya que nadie sabía nada acerca de las bases físicas de la herencia es decir *qué sustancia química codificaba las instrucciones para reproducir caracteres parentales en la descendencia*. Como dijimos antes, no había una teoría que diera otra explicación a este hallazgo.

A medida que se examinaban más organismos, se comprobaba que todos contenían ácidos nucleicos y, para sorpresa de químicos y biólogos, se encontró que los mismos eran muy parecidos. Si bien estas investigaciones demostraron que en el núcleo se encuentra el ADN, en ese momento no se relacionó que en dichos ácidos nucleicos estaba la información genética.

¿A quién se atribuía entonces, la función de almacenar y transmitir la información genética? Por mucho tiempo, se supuso que las **proteínas** con su gran variedad, estructura diversa y preponderancia en la célula, serían las encargadas de

tan importante función. Aunque la incógnita de su duplicación ponía en duda a esta idea, no fue fácil desterrar a las proteínas de esta historia, y se tuvieron que presentar varias experiencias para, por último, aceptar al ADN.

La mejor forma de entender este proceso es analizando las experiencias que se realizaron. Esto no sólo nos da la oportunidad de identificar la conceptualización en un momento histórico, sino también comprender la forma en que fue evolucionando el pensamiento científico. Cuando hay ideas fuertemente establecidas o preconcebidas en la comunidad científica, cambiarlas requiere muchas evidencias. Tanto las teorías científicas como las hipótesis tienen un carácter “provisional” y van siendo modificadas o sustituidas por otras con mayor capacidad explicativa. Lo veremos a lo largo del siguiente desarrollo.



### *Un aporte para el aula: hipótesis/teorías*

**Recuerde que la ciencia se origina en preguntas o problemas a los que se busca solución para poder explicar fenómenos e interpretar la realidad. La solución posible o las explicaciones tentativas dadas a los fenómenos observados se expresa en las hipótesis, que se someten a prueba, comprobándolas o refutándolas. El marco de su interpretación son las teorías y conocimientos ya validados por la comunidad científica.**

**Las hipótesis se basan en lo que se conoce o se observa y se construyen por deducciones lógicas.**

Un ejemplo extraído de un libro clásico de investigación en biología dice así:

“...si el salmón *Oncorhynchus kisutch* utiliza únicamente el estímulo visual para encontrar el arroyo donde nació con el fin de poner sus huevos entonces... un salmón de esta especie al que se le impide ver mediante una venda no puede retomar el arroyo donde nació”. (Baker J. y Allen G., 1970. Biología e investigación científica, Ed. Castellana, Fondo Educativo Interamericano SA, Bogotá. Pág. 29.)

### *Experimentos de Griffith*

Era el año 1928. Frederick Griffith, un oficial médico de la armada inglesa, trabajaba en la búsqueda para el desarrollo de una vacuna que combatiera infecciones ocasionadas por bacterias llamadas neumococos, especialmente la neumonía (el nombre científico de la bacteria es *Diplococcus pneumoniae*). Nunca logró hacer la vacuna, pero su trabajo, inesperadamente para él mismo y para la ciencia, abrió la puerta hacia el mundo molecular de la herencia.

Analicemos las experiencias de Griffith. Este investigador trabajaba con dos cepas distintas de neumococos: en una, las células bacterianas tenían una cápsula de polisacáridos y en la otra esa cápsula que envuelve las células no se presentaba. La cepa cuyas células tienen cápsula causa la neumonía, por eso es virulenta. La cepa sin cápsula es inocua, ya que no provoca la enfermedad. Este carácter (presencia o ausencia de cápsula) se hereda de células madres a células hijas, de generación en generación.

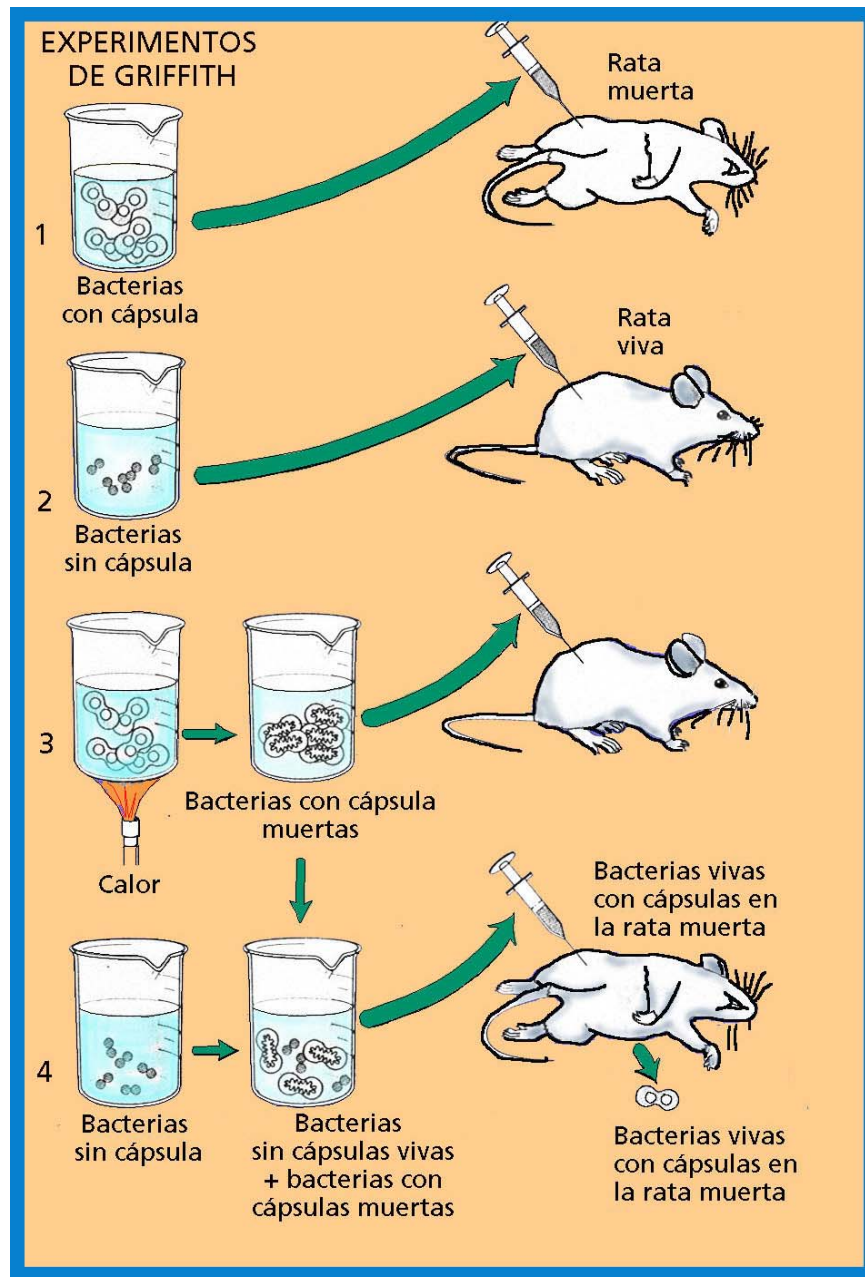
A continuación (Fig. 1) analizamos los experimentos de Griffith a los fines de identificar las preguntas y respuestas que guiaron su diseño.

**Experimento 1:** se inyectaron bacterias, neumococos, con cápsula a ratones sanos. Resultado: ratón muerto.

**Experimento 2:** se inyectaron neumococos sin cápsula a ratones sanos. Resultado: ratón vivo.

**Experimento 3:** se inyectaron neumococos capsulados muertos por calentamiento a ratones sanos. Resultado: ratón vivo.

**Experimento 4:** se inyectó a ratones sanos una mezcla de neumococos vivos sin cápsula con neumococos encapsulados muertos por calentamiento. Resultado: ratón muerto.



Como se aprecia en el esquema, Griffith, en su experimento 4, comprobó que, inesperadamente, los ratones contrajeron neumonía y murieron. Y mucho más que eso; las muestras de sangre de estos ratones contenían neumococos vivos con cápsula! La explicación es que si bien el calor había matado las bacterias, no había destruido su material hereditario. Entonces, parte de ese material había sido transferido a los neumococos vivos, que se habían transformado de inocuos en virulentos, al adquirir la posibilidad de producir su cápsula.

La hipótesis para explicar este resultado fue que: *"algo se ha transferido desde las bacterias muertas a las vivas y, de alguna forma, los neumococos sin cápsula adquirieron la capacidad de producir cápsula y, además, transmitir esta capacidad a su descendencia"*.

Para verificar esta hipótesis se prepararon medios de cultivo en los cuales los neumococos pudieran multiplicarse fuera de organismos vivos (*in vitro*).

**Experimento 5:** primero se cultivaron neumococos con cápsula. Luego, como en el experimento 3, se los mató por calentamiento, se los trituró y se los disolvió formando un extracto. Se mezcló este extracto con neumococos vivos sin cápsula que crecían en un medio de cultivo.

**Experimento 6:** se inyectaron neumococos obtenidos en el experimento 5 a ratones sanos.

Lo que se quería observar era si *in vitro* sucedía lo mismo que en *in vivo*. En otras palabras, si lo que se había comprobado que ocurría en los ratones vivos, era posible de ser reproducido en medios artificiales de cultivo. Y desde luego, las observaciones de ambos tipos de experimento fueron coincidentes. Se corroboró así, la hipótesis.

Recapitulando estas experiencias podemos decir que Griffith encontró que había "algo" que se transmitía desde las bacterias muertas a las vivas, que hacía que estas adquirieran características hereditarias que no poseían antes del experimento (de no tener cápsula, pasaron a tenerla). Ese "algo", evidentemente, tenía inscripta la información para que los neumococos pudieran producir la cápsula. Por ello, llamó a este fenómeno transformación y a la causa factor transformante, sin que supiera cuál era.



## ACTIVIDAD N° 2

Los experimentos de Griffith constituyen una buena oportunidad para recrear el proceder de la ciencia y desarrollar **contenidos procedimentales** relacionados con la experimentación científica. Además, su análisis sirve para comprender la necesidad de poseer conocimientos previos para guiar las observaciones y seleccionar –en este caso–, el tipo de cepa a inyectar. No obstante el resultado del experimento 4 no permite confirmar la hipótesis inicial de Griffith, pero sí plantea una nueva. El experimento 5 confirma la nueva hipótesis y da pie a un nuevo conocimiento.

- i) Los siguientes interrogantes le guiarán en el diseño de una actividad a ser realizada con los alumnos.

¿Cómo presentaría a sus alumnos el experimento de Griffith, a fin de que comprendan el sentido de la secuencia antes descrita?

¿Cómo aprovecharía el resultado inesperado de la experiencia?

¿Qué actividades les propondría con el objeto de que comprenda el sentido del proceso: la identificación de los conocimientos previos que sustentan toda experiencia, a partir de lo cual se plantean hipótesis, que cada hipótesis posee variables que se relacionan y comparan y que su comprobación genera conocimiento?

Explicite la actividad diseñada.

- ii) Intercambie su resolución de esta actividad con los compañeros de su grupo mediante el correo electrónico. Elaboren en conjunto y/o acuerden una única propuesta de resolución y envíenla al tutor para su evaluación.

La Actividad N° 2 es un ejemplo de cómo aprovechar la historia de la ciencia para analizar cómo se hace ciencia. Los aprendizajes de los contenidos procedimentales que logran los alumnos podrán transferirse al análisis de otras experiencias similares. Seguidamente, comentamos la forma en que los trabajos de Griffith influyeron en investigaciones posteriores.

### *Experimento de Avery y colaboradores*

Los resultados de Griffith intrigan, a principios de los 40, al bioquímico norteamericano Oswald Avery y a sus colegas, ellos deseaban identificar cuál era el **factor transformante**, o sea qué parte del extracto hacía posible que bacterias sin cápsula produjeran bacterias con cápsulas.

En otras palabras, el problema ahora planteado era: *¿cuál es el material hereditario?*

Para ello, realizaron varios análisis químicos rigurosos y llegaron a la conclusión de que: el **ADN** sería el material hereditario y no las proteínas como era la creencia generalizada.

Las evidencias experimentales que se presentaron fueron las que siguen. Partiendo del extracto de neumococos muertos por calor, en el cual se encontraría el material genético, hicieron estas pruebas:

- a) agregaron enzimas que digerían completamente las proteínas del extracto y lo mezclaron con neumococos vivos sin cápsula. Observaron que estas bacterias se transformaban (tenían cápsula y eran virulentas).
- b) agregaron enzimas que digerían completamente el ADN del extracto, pero no afectaban las proteínas, y lo mezclaron con neumococos

vivos sin cápsula. En este caso, bloquearon la información hereditaria, ya que los neumococos sin cápsula no se convirtieron en virulentos.

De esta forma, estos investigadores encontraron **que el ADN era la sustancia que ejercía el control químico de la herencia**. Sin embargo, debido a la creencia generalizada de que sólo las moléculas de proteína tenían suficiente complejidad como para explicar la especificidad de los individuos, esta conclusión no fue totalmente aceptada por la comunidad científica.

### *Experimento de Hershey y Chase*

La incredulidad fue un motor para continuar con los estudios a fin de avanzar en la cuestión. Las investigaciones se encauzaron hacia el estudio de los virus y las evidencias se sumaron.

Entre las investigaciones relacionadas con virus se destacan las llevadas a cabo por los norteamericanos Alfred Hershey y Martha Chase en 1952. Ellos estudiaban el bacteriófago T2 y observaron que sólo el ADN y no la proteína del virus entra en la célula bacteriana cuando la infecta.

¿Cómo hicieron para averiguar que era el ADN que entraba en la célula? ¿Cómo distinguir el ADN de la proteína? Aquí está lo interesante del diseño de este experimento.

Ellos se basaron en que el ADN contiene fósforo (P) mientras que las proteínas no y, a su vez, las proteínas de dicho virus contienen azufre (S) y los ácidos nucleicos no, de manera que “marcaron” con radioactividad las proteínas y el ADN con S y P radioactivos, respectivamente, para luego rastrearlos. Para marcarlos se hace crecer a los bacteriófagos en un medio que tenga P radiactivo que será utilizado para construir su ADN, por lo cual quedará marcado. Lo mismo se hace para marcar las proteínas, haciendo crecer a los bacteriófagos en un medio con S radiactivo, que incorporan a las proteínas, marcándolas. Esto implicó que retomaran los hallazgos vistos anteriormente.

En la siguiente figura le presentamos todo el proceso con sus conclusiones.



### *Un aporte para el aula*

Esta es otra oportunidad para revisar cómo se realiza un proceso experimental sin recurrir a un laboratorio real, sino reviviendo a través del relato histórico un experimento hecho por un científico. Por ejemplo, puede hacer observar a sus alumnos la figura para que relaten la secuencia y el diseño de la experiencia. Algunas preguntas que pueden orientar el diálogo son ¿Cuál fue la hipótesis, qué variables se eligieron, cómo se las controló, qué materiales se utilizaron, cuáles fueron los resultados, cuáles las conclusiones?

## La estructura química del ADN

### *¿Cómo se resuelve el misterio de la estructura química del ADN?*

Los primeros análisis estuvieron dirigidos a contestar la pregunta del título anterior.

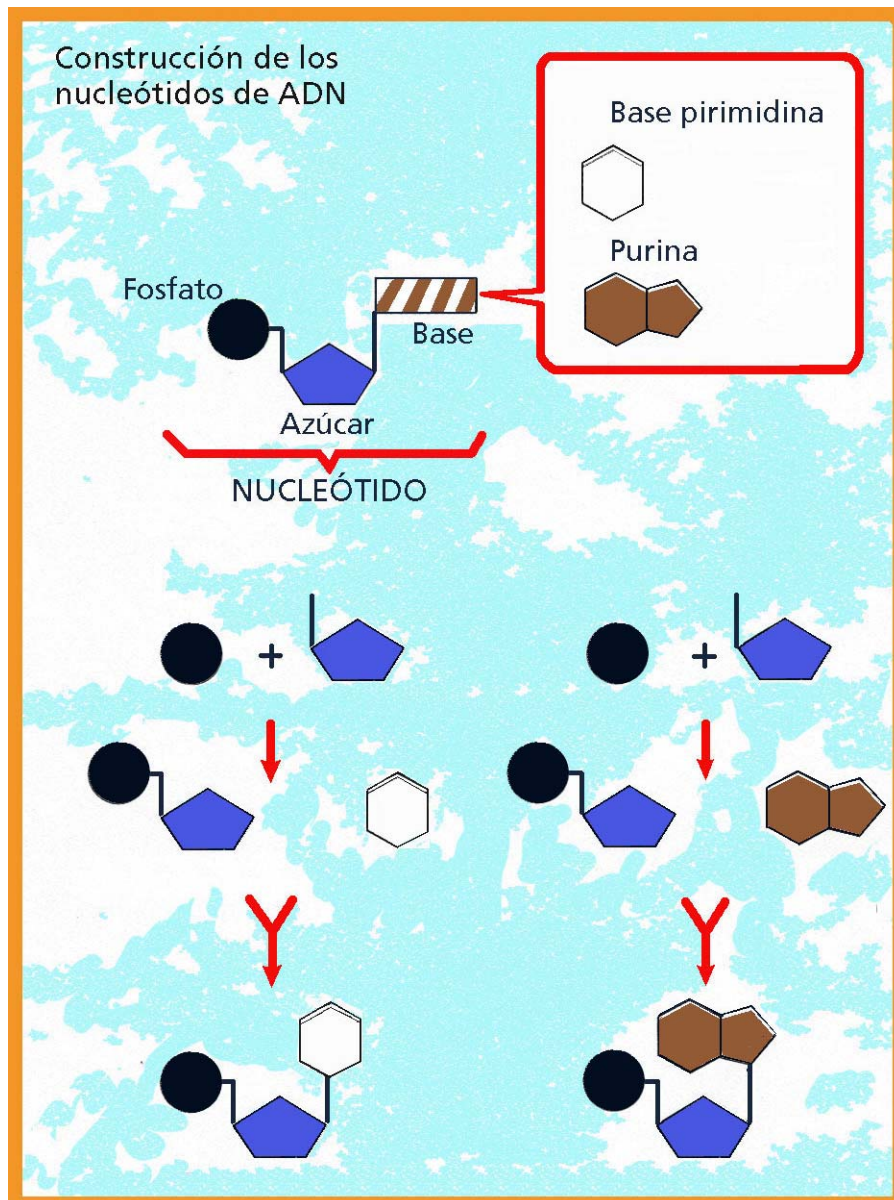
Cuesta aceptar que el secreto de la vida esté inscripto en una molécula, aunque sea una macromolécula. Una molécula tan increíble que cumpla con las siguientes condiciones:

1. que sea capaz de reproducirse o replicarse exactamente,
2. que tenga una estructura muy estable en condiciones biológicas (o sea en temperatura, medio, etc. del interior de los organismos) que haga que los cambios sean poco frecuentes,
3. que pueda almacenar la información biológica y
4. que transmita esa información de generación en generación.

El ADN cumple efectivamente con todas esas condiciones. Y es de esperar que por ello su estructura permita tan importantes y variadas funciones. Debemos estudiar al ADN desde esta óptica, analizando el secreto de la vida y descubriendo cómo puede cumplir cada una de las condiciones antes citadas.

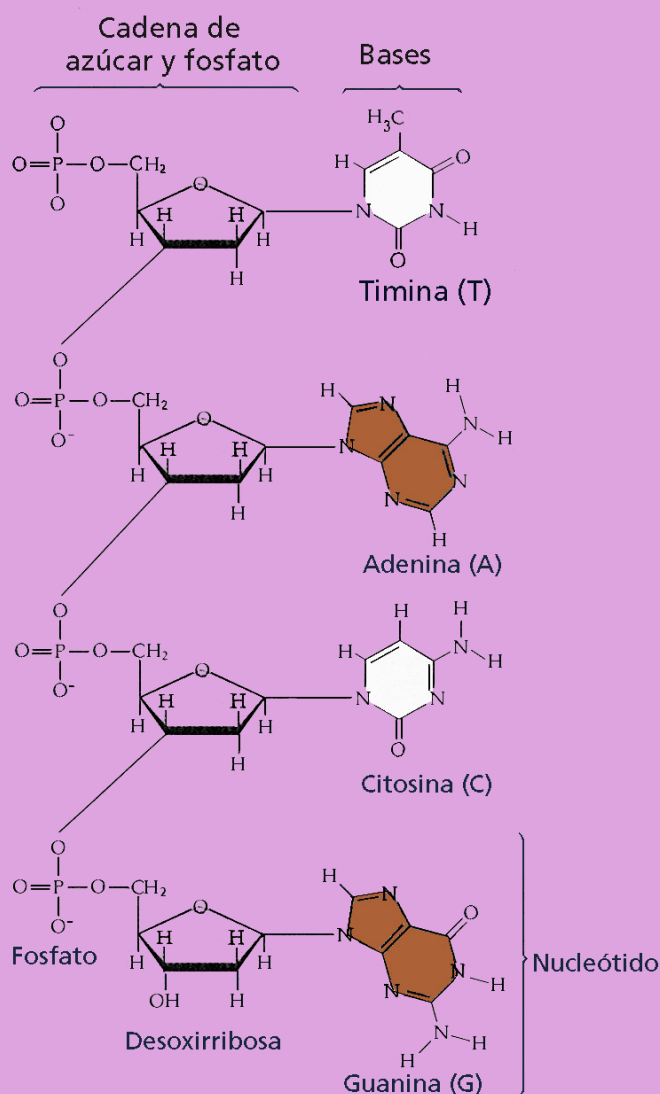
Como vimos, solo a principios de los años 50 se logró reconocer el papel biológico del ADN. Sin embargo, mucho antes los bioquímicos supieron que el ADN era una macromolécula larga y compleja, formada por unidades básicas unidas entre sí (un polímero formado por monómeros). Así como las proteínas están constituidas por numerosos aminoácidos unidos entre sí de diversas maneras, el ADN está constituido por cuatro unidades llamadas nucleótidos.

Los nucleótidos están formados por un azúcar de cinco carbonos (desoxirribosa), un grupo fosfato, y una de las siguientes cuatro bases nitrogenadas: adenina, guanina, timina y citosina. De ahora en adelante, nos referiremos a ellas como A, G, T y C, respectivamente.



Las bases A y G están formadas por estructuras que tienen dos anillos, en cambio T y C tienen un solo anillo. Este hecho, por ahora sin importancia aparente, tendrá sentido más tarde.

### Estructura química de una cadena de ADN



Los cinco carbonos de la desoxirribosa se numeran consecutivamente desde el 1 (el C al que está unido la base nitrogenada) al 5 (el que tiene # 2 y está unido al grupo fosfato).



### *Un aporte para el aula*

En el aula, se pueden representar estas bases con colores, formas y estas letras, si fuera el caso. No son importantes los nombres, pero sí reconocer que tienen distinta estructura y propiedades químicas.

En 1949, el bioquímico norteamericano Erwin Chargaff informó que, curiosamente, en las distintas especies estudiadas la cantidad de A es siempre igual a la de T, y que la de G es igual a la de C. En otra forma:  $A = T$  y  $G = C$ .

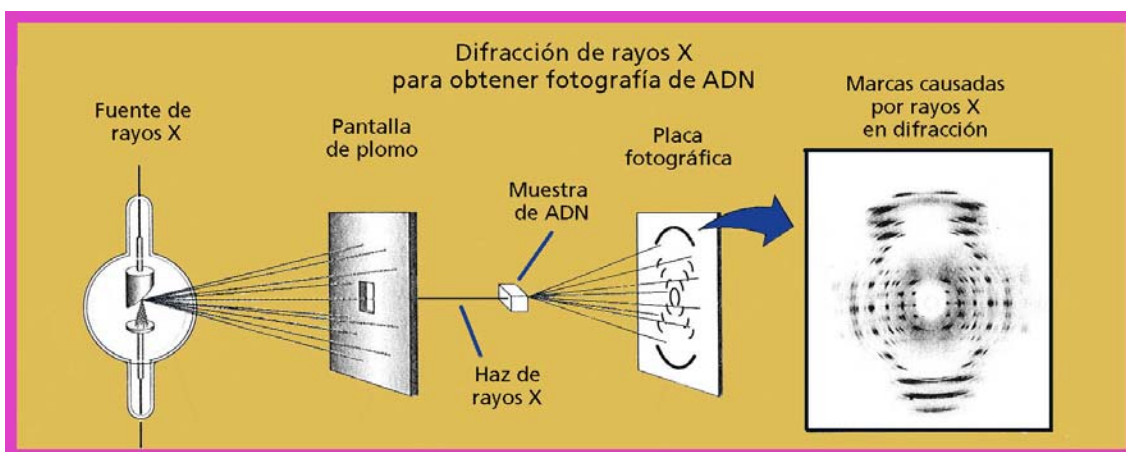
Esta información sobre las proporciones relativas de los cuatro

tipos de nucleótidos fue crucial para determinar la estructura de la molécula, así como lo fueron las fotos obtenidas por difracción de rayos X por la física Rosalind Franklin, del laboratorio de Maurice Wilkins, que indicaban que tendría una forma de hélice doble. A continuación vemos como se realiza esta técnica y la foto que ellos obtuvieron.



### *Un aporte para el aula*

Los conocimientos anteriores requieren aportes desde otras disciplinas, por ello le sugerimos que para trabajar este tema se reúna con el docente de Química y proponga una actividad para sus alumnos que permita retomar los conceptos de dicha área de conocimiento e interpretar esta figura:



### ¿Qué aportan, entonces, los hallazgos de la física a la estructura molecular del ADN?

Con todos estos elementos, James Watson y Francis Crick, bioquímicos de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, con sólo 25 y 33 años de edad, propusieron en 1953 un **modelo** tridimensional de la estructura del ADN que analizaremos seguidamente, el cual resultó útil para dar cuenta de las evidencias acumuladas. Lo interesante es que no realizaron experimentos ellos mismos, sino que recopilaron toda la información disponible, la contrastaron y la unificaron de una forma coherente.



### *Un dato*

En 1962, Watson, Crick y Wilkins compartieron el Premio Nobel en reconocimiento al trabajo por haber descifrado la estructura del ADN (como Franklin murió en 1958 no fue nombrada, ya que los premios Nobel no se entregan póstumamente).

Este **modelo** revolucionó a la biología, ya que no sólo explicaba la estructura de la molécula más significativa para la vida, sino que también a través de su estructura, se reflejaba su función.

Con el objeto de remarcar el papel de las teorías en la Biología y su relación con su enseñanza, Barberá (1992) expresa:

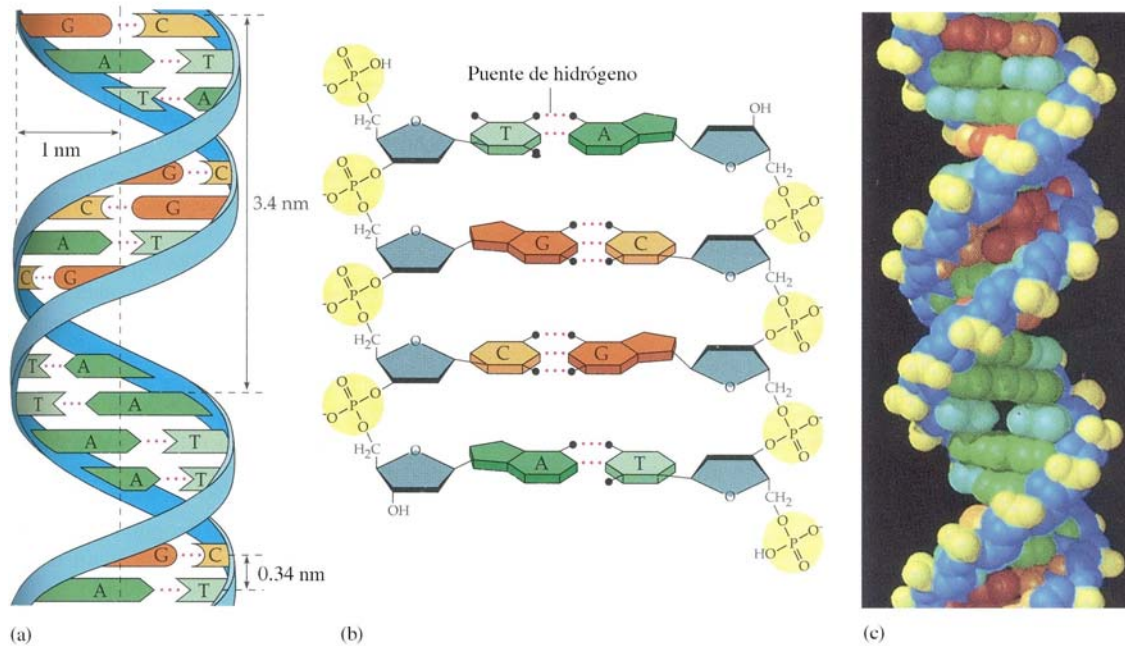
“En realidad la representación de las teorías que se encuentra en los libros de textos de biología es escasa (...) Durante el siglo pasado y la primera mitad del presente, la biología ha venido siendo definida como una ciencia descriptiva. A esto ha contribuido, sin duda, la gran cantidad de trabajo que durante este período se realizó sobre taxonomía, morfología y estudio natural. Pero durante ese mismo período, e inclusive muy anteriormente, la biología ya era una ciencia con carácter hipotético deductivo, lo que hoy denominamos biología teórica (...) En el siglo XIX, son muy numerosas las teorías formuladas con estas características en campos como la fisiología, la evolución, la reproducción, la herencia, etc. Ya en nuestro siglo, han sido muy fructíferas las concernientes a la estructura y función del ADN, a la acción entre antígeno y anticuerpo y otras muchas que todos tenemos en mente. ¿Cuál es entonces la razón de que aún se presente la biología como una ciencia eminentemente descriptiva?”.

Para escapar de este error de sobredimensionar lo descriptivo, debemos hacer algunos cambios, principalmente dejar de considerar el método científico con un proceder único e inductivo. Al respecto Barberá (1992) afirma:

“Una teoría es algo más que una simple inducción o una determinada idea que se supone que representa la realidad. Es un modelo de razonamiento, cuyo contenido es un conjunto de ideas formuladas como postulados o premisas básicas, unas líneas de razonamiento, algunos hechos y algunas definiciones. Las líneas de razonamiento son las encargadas de construir la estructura y lo pueden hacer de tres formas: 1) utilizando los hechos para corroborar los correspondientes postulados, 2) utilizando los hechos y los postulados para explicar otros hechos relacionados, 3) utilizando los postulados y los hechos para predecir posibles nuevos hechos (...) Una teoría es un constructo intelectual que intenta describir una realidad observada y proporcionar modelos aproximados y útiles.”

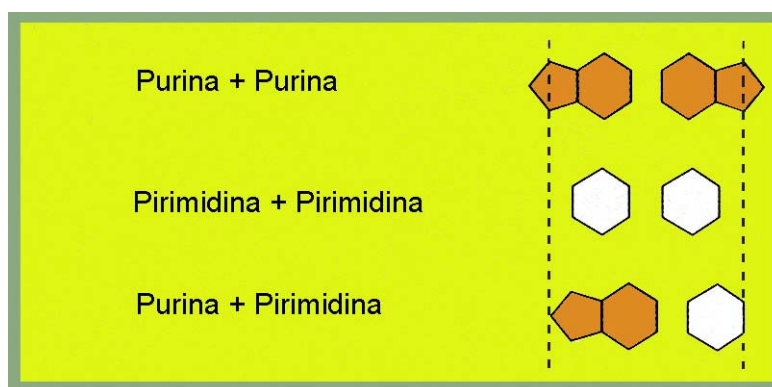
La ciencia a menudo se aproxima a una teoría a través de la elaboración de un modelo que usa como instrumento de análisis y predicción. Se pueden tener hasta diferentes modelos para mostrar aspectos del mismo fenómeno. Posteriormente y por búsqueda de evidencias, el modelo se elabora en el marco de una teoría. Así, las investigaciones científicas tienen como uno de sus objetivos fundamentales interpretar los fenómenos físicos y naturales con modelos.

Desde esta perspectiva, volvamos ahora al análisis de un modelo fundamental en Biología, el de Watson y Crick, remitiéndonos a la figura siguiente.



Como podrá observar en la figura, el ADN está formado por una doble hélice de nucleótidos: dos cadenas unidas por "escalones" que tienen distintas direcciones (una "va" y otra "viene"). Es decir, comparando los números que identifican los átomos de carbono de la molécula de desoxirribosa, una cadena los tiene en dirección  $5 \Rightarrow 3$  y la otra en dirección  $3 \Rightarrow 5$ . Las cadenas de las hélices están formadas por los azúcares y los fosfatos, en tanto que las bases están en la parte central uniendo las dos columnas y formando los escalones o pares de bases. Los pares de bases se usan para indicar longitudes del ADN (por ejemplo 100 pares de bases, 2000 pares de bases, etcétera).

El espacio entre las dos cadenas es tal, que para dos bases con un anillo (T y C) es muy grande, y es muy pequeño para dos bases con dos anillos cada una (A y G), pero es perfecto para una base con un anillo y otra con dos anillos, como se aprecia en la figura siguiente.



Efectivamente, en el ADN se combinan una base de un anillo con una de dos anillos. ¿Cómo se unen las bases? A con T, ambas se unen por dos puentes de hidrógeno, y C con G, que lo hacen por tres puentes de hidrógeno; de este modo, encajan como cerradura y llave siendo las uniones estables. Por esto, Chargaff

encontró que  $A = T$  y  $G = C$ , es decir la cantidad de purinas ( $A + G$ ) es igual a la cantidad de pirimidinas ( $T + C$ ).

De este modo, su estructura es muy estable en condiciones biológicas, ya que posee una enorme cantidad de uniones químicas. Además, si se separaran ambas cadenas, las bases quedarían en contacto con el medio celular acuoso, y como son hidrofóbicas (no se mezclan con el agua), tenderían a unirse nuevamente.

Queda definido así que las dos cadenas son **complementarias** entre sí: la secuencia de nucleótidos de una cadena "dicta" la secuencia de nucleótidos en la otra cadena. En otras palabras, cada vez que una cadena tiene una A, la otra cadena presenta una T y cada G en una cadena está apareada con una C.

Esta complementariedad indica las combinaciones de bases nitrogenadas que forman los "escalones" o pares de bases que unen las dos cadenas, pero, la secuencia de nucleótidos a lo largo de cada cadena no tiene restricciones. Así, la secuencia lineal de las cuatro bases puede variar de manera incalculable...

Como habrá podido observar la estructura del ADN es similar en los organismos analizados, sin embargo hay diferencias en la secuencia de las bases. Ahora bien, habiendo trabajado la estructura del ADN veremos cómo se duplica esta molécula.

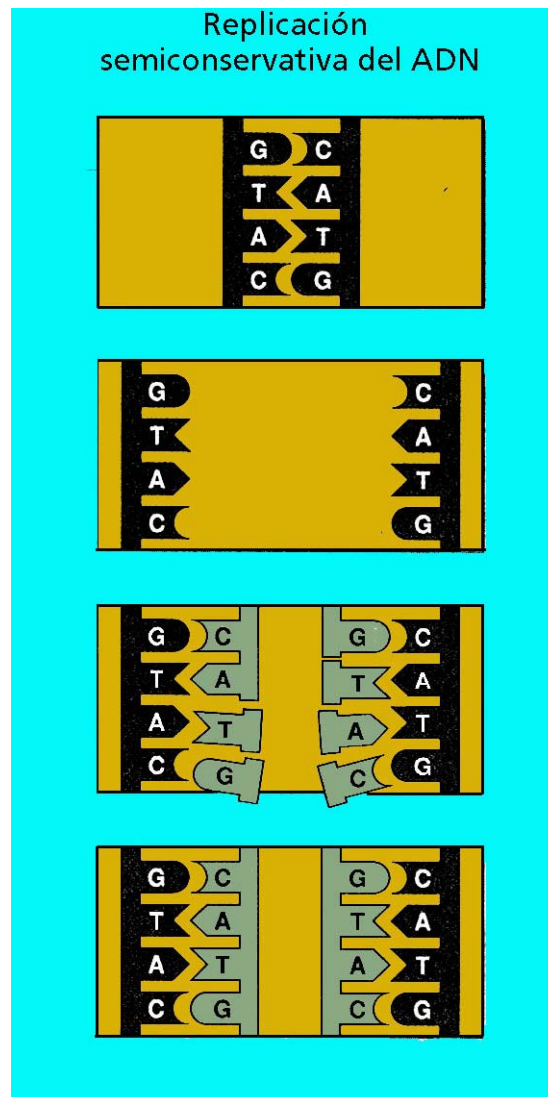
## La duplicación del ADN

### *¿Cómo se duplica el ADN y lleva la información de generación en generación?*

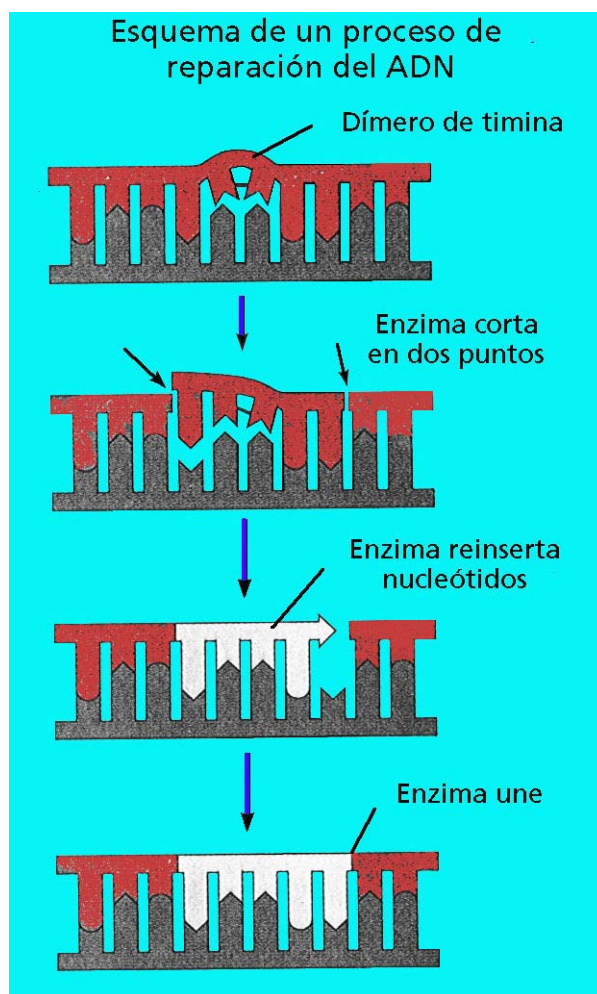
Este es un punto crucial desde el punto de vista biológico. El ADN es una molécula que se autoduplica. En verdad, el parecido de los hijos a sus padres tiene su base en la precisa duplicación del ADN y su transmisión de una generación a la siguiente, combinándose el ADN del padre con el de la madre.

La misma estructura tridimensional del ADN ya sugiere el mecanismo básico de duplicación del ADN. Teóricamente, su copia tendría tres posibilidades, partiendo de la molécula madre a las dos moléculas hijas: semiconservativa (cuando las moléculas hijas tienen una cadena de la molécula madre y una cadena nueva), conservativa (cuando una de las moléculas hijas es totalmente nueva, y la molécula madre se conserva) y dispersiva (cuando ambas cadenas de las dos moléculas hijas tienen partes de la molécula madre mezcladas con partes nuevas). El esquema de la siguiente figura lo ejemplifica.

Un conjunto de enzimas interviene en este proceso (la más importante es la ADN polimerasa) las que facilitan la ruptura de las uniones de puente de hidrógeno entre las dos cadenas de la molécula de ADN. Cuando lo hacen, las cadenas se desenrollan entre sí exponiendo las bases de cada nucleótido. Luego, las enzimas van generando una nueva cadena en cada una de las viejas, usando para ello los nucleótidos libres que normalmente tienen las células. Para ello, se sigue la complementariedad en el apareamiento de bases, de modo que a cada A se le aparea una T y a cada C una G; es como si "leyeran" lo que está escrito en la cadena y buscaran el nucleótido complementario para ir formando la cadena complementaria. Quedan, al final del proceso, dos moléculas idénticas de ADN, enrolladas normalmente, que tienen una cadena vieja y una cadena nueva, por lo que es una replicación "**semiconservativa**".



Este mismo proceso se pone en marcha cuando las enzimas reconocen regiones alteradas en una cadena de ADN y lo reparan, siendo de sumo valor para corregir errores de copia o provocados por agentes externos. A través del análisis de la siguiente figura usted podrá identificar este proceso de reparación y asimismo apreciar la similitud de los elementos que intervienen en los procesos de reparación y replicación.



### ACTIVIDAD N° 3

Con esta actividad le damos un ejemplo de cómo se puede realizar una transferencia importante de este tema al ámbito de la salud.

Un docente solicitó a sus alumnos que realicen la siguiente tarea:

Lean el siguiente párrafo, identifiquen la “reparación” de la que se habla y expliciten opiniones sobre los efectos del sol en el cáncer de piel.

*El nombre **Xeroderma pigmentosum** alude a una enfermedad hereditaria humana. Quienes la padecen, tienen altísimo riesgo de contraer cáncer de piel, pudiendo terminar en “melanoma” su forma más mortal. Normalmente los rayos ultravioletas del sol, provocan alteraciones en el ADN: cuando hay dos bases T juntas, las unen en lo que se conoce químicamente como un dímero (como se vio en la figura anterior). En personas*

*sin el defecto, se pone en marcha el sistema de reparación del ADN, que reconoce al dímero, rompe el sector donde se encuentra y vuelve a sintetizarlo de manera apropiada. Pero, en aquellas que lo sufren, el sistema de reparación es anormal y no se pone en funcionamiento. Por ello, estas personas deben evitar los rayos solares a toda costa.*

1. Resuelva las siguientes consignas:

- a. Realicen las tareas que el docente pidió a sus alumnos.
- b. ¿Qué ventajas y desventajas encuentra en la realización de esta actividad con los alumnos?
- c. ¿Qué conceptos de biología de los desarrollados hasta aquí podría retomar en clase a partir del análisis del tema “reparaciones”?

Anteriormente vimos las características y problemáticas asociadas a la duplicación del ADN, siguiendo con el análisis histórico nos haremos una nueva pregunta: ¿cómo se descubre la conexión entre el ADN y las proteínas? Ésta y otras cuestiones serán tratadas en el siguiente desarrollo.

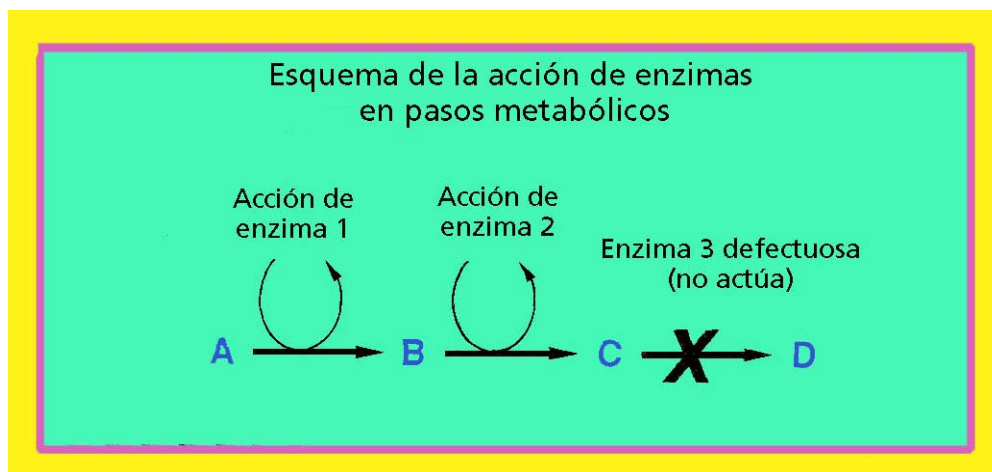
## La relación ADN/PROTEÍNAS

### *¿Cómo se descubre la conexión entre el ADN y las proteínas?*

Como vimos, la información genética en el ADN se encuentra en la forma de secuencias específicas de nucleótidos a lo largo de cada una de sus dos cadenas. ¿Cómo se relaciona esa información con los rasgos hereditarios de los seres vivos?, o en otras palabras: ¿qué es lo que está escrito en un gen?, ¿cómo el mensaje del ADN es traducido por las células de tal modo que los organismos presenten los caracteres que han heredado, por ejemplo color de ojos marrones y pelo rubio?

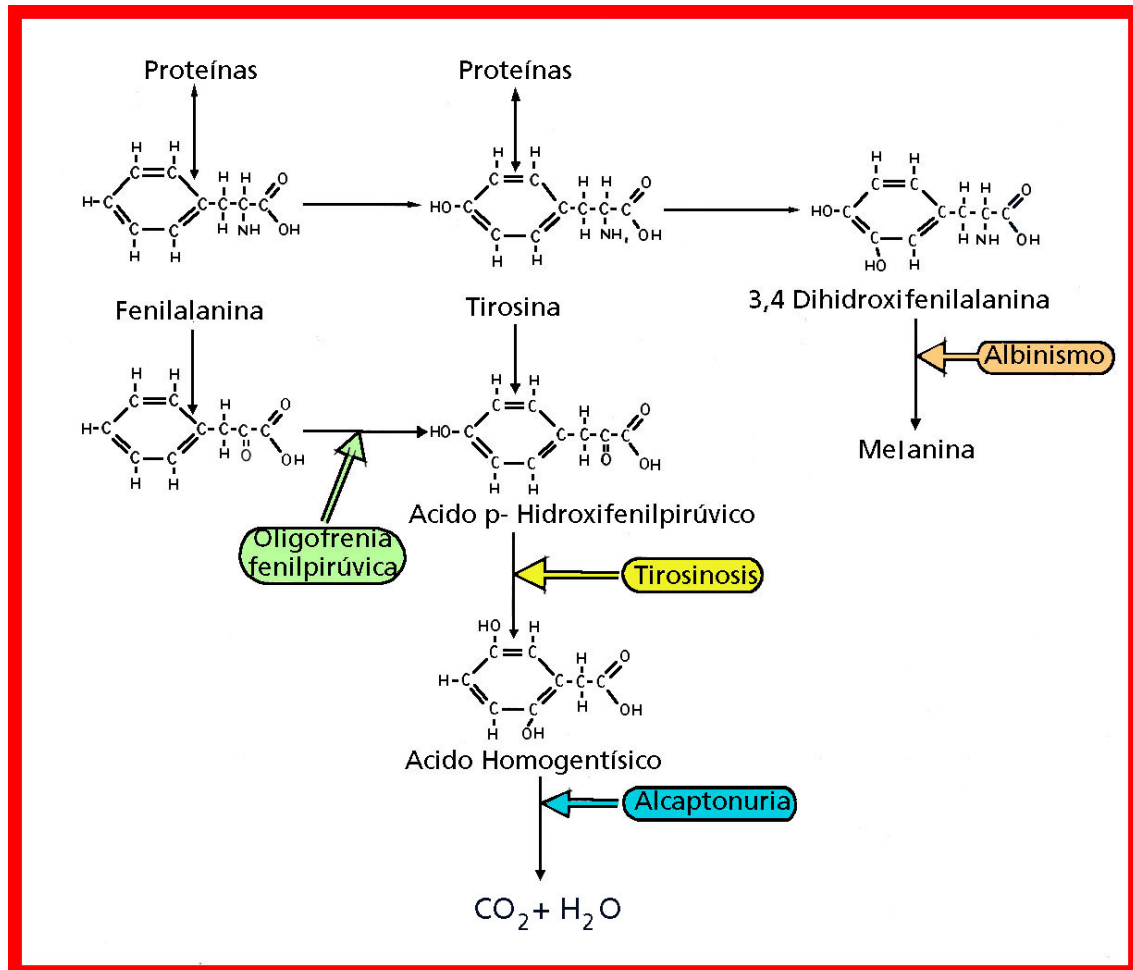
En este caso, es también interesante recurrir a la historia y ver cómo se llegó a la conclusión de que el ADN que heredan los organismos, conduce a rasgos específicos visibles determinando la síntesis de proteínas de las células.

En los primeros años de la década del 1900, el médico inglés Archibald Garrod estaba intrigado por ciertas enfermedades humanas. Estas parecían ser heredables porque eran recurrentes en las mismas familias. También parecían ser desórdenes metabólicos, ya que muestras de sangre y de orina de los pacientes afectados contenían niveles anormalmente altos de una sustancia producida por un cierto paso metabólico que era conocido, como se observa en el siguiente esquema.



Algunas de las enfermedades hereditarias a las que se refería son el albinismo y la alcaptonuria. El albinismo es una anomalía congénita, del hombre y de animales, por la cual quienes la sufren carecen de pigmento en la piel, los cabellos y el iris del ojo. Por su parte, la alcaptonuria es una enfermedad por la que la orina de los pacientes se ennegrece cuando toma contacto con el aire, las articulaciones y los ligamentos se vuelven parduscos, y se excreta ácido homogentísico. En la figura siguiente, está el detalle de los pasos metabólicos y las enfermedades a las que aludimos.

En estos dos casos, y en el de otras de enfermedades similares, Garrod razonó, adelantándose a su tiempo, que alguna enzima de los pasos metabólicos implicados era defectuosa, e interrumpía alguno de los pasos de la cadena metabólica de tal modo que el último producto que se producía, se acumulaba. Garrod, en 1908,



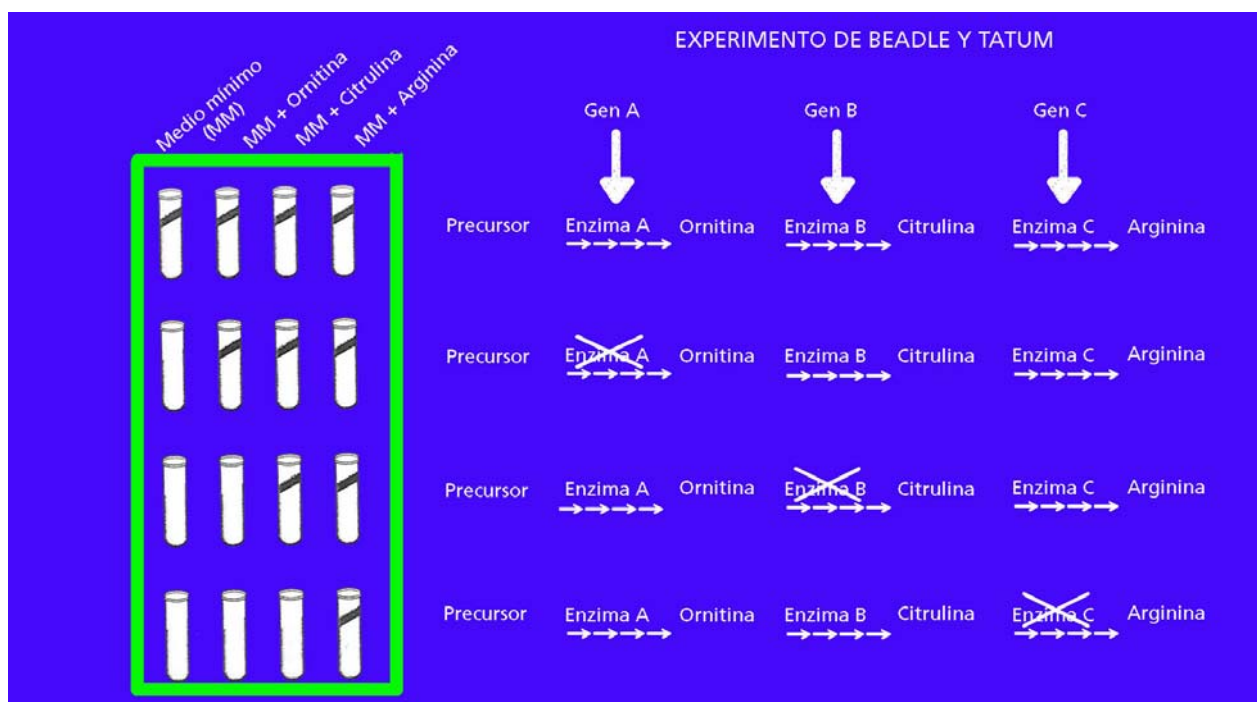
concluyó que los genes deberían funcionar a través de la síntesis de enzimas específicas. Esta hipótesis, que podemos resumir en la frase “un gen-una enzima”, fue evidenciada 33 años más tarde, por otros investigadores -George Beadle y Edward Tatum- que trabajaron con el moho del pan.

Analicemos cómo lo hicieron. En primera instancia trabajaron buscando mutantes nutritivos del moho del pan (*Neurospora crassa*). El llamado tipo salvaje del moho del pan tiene pocos requerimientos nutritivos, ya que puede sobrevivir en el laboratorio en un medio de cultivo como el agar, al que se le agregan sales inorgánicas, sacarosa y la vitamina biotina. A partir de este medio mínimo, el moho expresa sus genes y con su metabolismo produce todas las moléculas nutritivas que precisa.

Estos investigadores identificaron mutantes que no podían sobrevivir en el medio mínimo, aparentemente porque no podían sintetizar ciertas moléculas esenciales a partir de los ingredientes proporcionados. A estos mutantes se los conoce con el nombre de **auxótrofos**. La mayoría de los auxótrofos pueden crecer en un medio completo, es decir el medio mínimo suplementado con los 20 aminoácidos y otros pocos nutrientes.

Para identificar el error metabólico de cada mutante, Beadle y Tatum tomaron muestras de cada uno y lo pusieron a crecer en medio completo; a partir de él, tomaron muestras y las pusieron a crecer en diferentes tubos con diferentes medios: cada tubo contenía el medio mínimo al que se le había agregado un único nutriente adicional. Así pudieron identificar el defecto de cada mutante: sólo podían crecer en el medio que les ofrecía el nutriente que no podían sintetizar. Por ejemplo, si el moho crecía en el único tubo que tenía adicionado el aminoácido arginina, los investigadores concluían que ese mutante era defectuoso en el paso metabólico que sintetizaba arginina.

Con más experimentación podían describir el defecto con más precisión.



En el caso de la arginina en particular, los pasos metabólicos incluyen una sustancia precursora proveniente de los nutrientes que es convertida en ornitina, y la ornitina es luego convertida en citrulina, la cual es finalmente convertida en arginina.

Entre los numerosos mutantes que Beadle y Tatum identificaron, algunos requerían arginina, otros arginina o citrulina, y finalmente otros necesitaban arginina, citrulina u ornitina.

Ellos razonaron que estas tres clases de mutantes, debían estar bloqueados en algún paso metabólico de la síntesis de arginina y concluyeron que cada mutante tenía

una enzima deficiente. Asumiendo que cada mutante era defectuoso en un único gen, formularon la hipótesis **un gen-una enzima**, que indica que un gen dicta la producción de una enzima específica.

Es decir, un gen tiene la información codificada para que la célula genere una enzima.

Esta hipótesis fue redefinida como resultado de investigaciones sobre otra enfermedad humana conocida como anemia falciforme, que analizaremos un poco más adelante.

En la redefinición, se consideró que las **enzimas son proteínas**, pero no todas las proteínas son enzimas.

En efecto, muchas forman parte de la estructura de la célula y se las conoce como proteínas estructurales. Además, que tanto enzimas como proteínas estructurales, ambas macromoléculas, están formadas muchas veces por varias subunidades más cortas de aminoácidos, llamadas polipéptidos, y en ambos casos son productos génicos. Estos datos, unidos a observaciones experimentales, permitieron reformular la hipótesis de esta manera: “un gen-un polipéptido”.

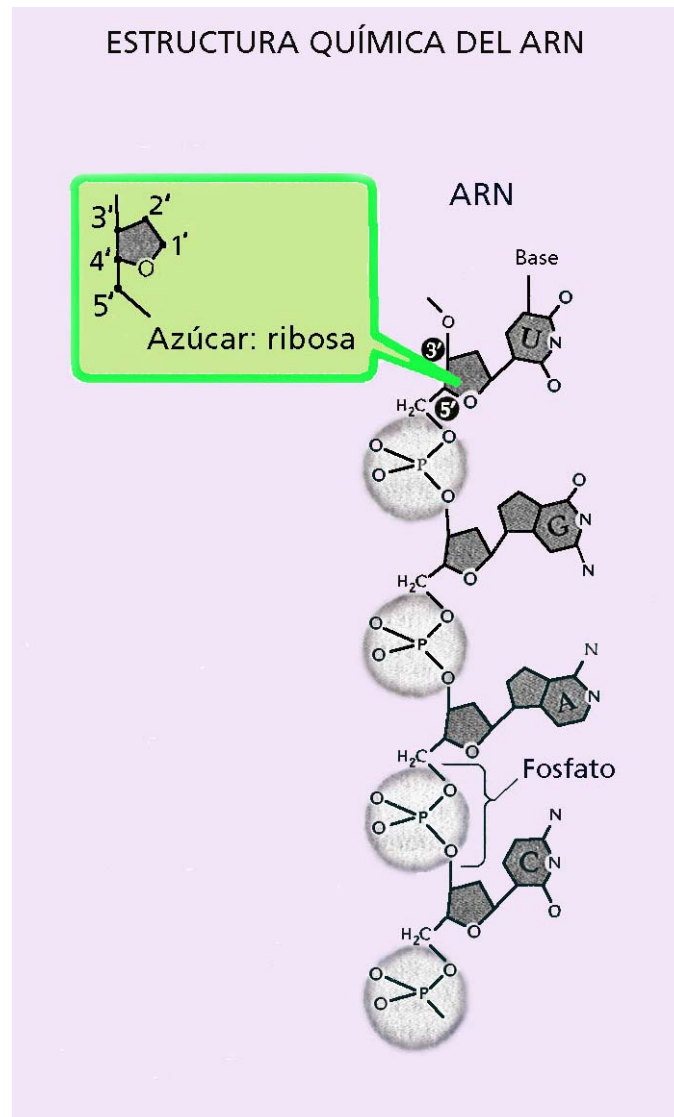
En otras palabras, la función de un gen es controlar la producción de un polipéptido específico. Veamos entonces, cómo ocurre este proceso.

### *¿Cómo se transmite la información genética del ADN hasta llegar a la construcción de las proteínas?*

Pongamos ahora nuestra atención en los mecanismos por los cuales los genes (segmentos específicos de ADN) se expresan como polipéptidos o subunidades de las proteínas. Podremos así entender cómo se manifiestan en el cuerpo y en la organización de los seres vivos, los genes que heredaron de sus progenitores. Quedó claro, entonces, que los genes proveen las instrucciones para producir proteínas específicas.

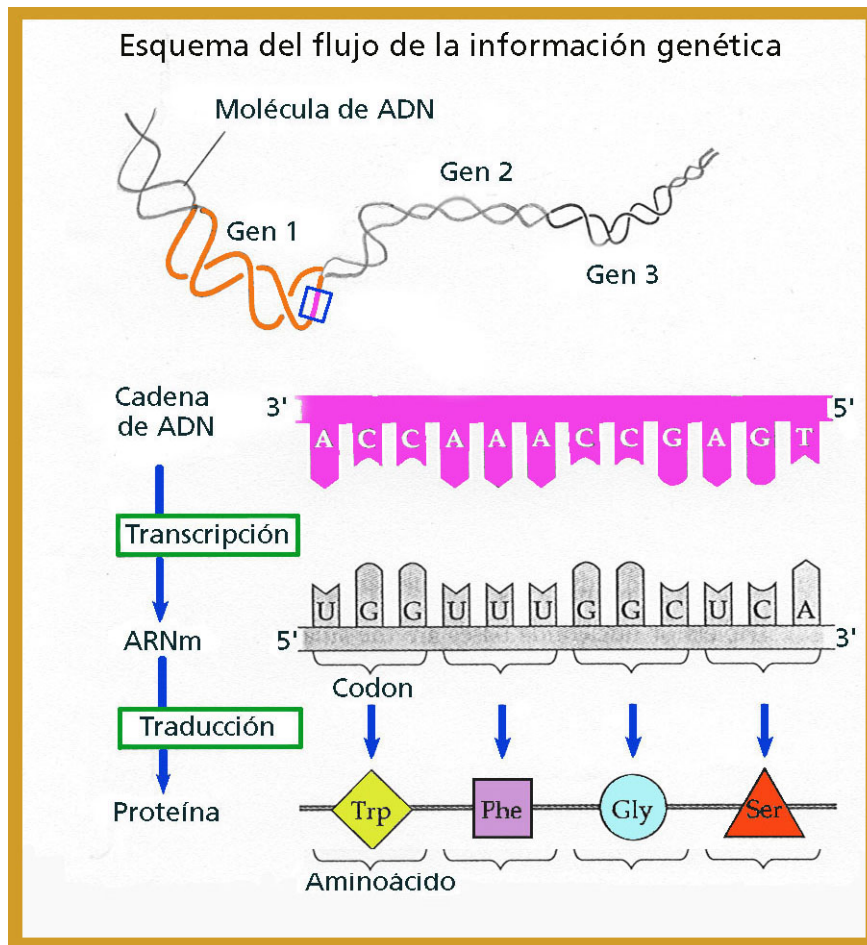
Pero los genes no construyen las proteínas directamente. Existe un flujo de la información del ADN a otra macromolécula y de ésta a las proteínas. Esa macromolécula que hace de puente entre ambas es otro ácido nucleico: el ácido ribonucleico o **ARN**.

Antes de seguir, veamos las diferencias entre el ADN y el ARN. La molécula de ARN es como una cadena única de ADN que tiene también cuatro tipos de nucleótidos, con estas variantes: el azúcar es la ribosa (de ahí su nombre), tres de las cuatro bases son iguales al ADN (A, C y G, o sea adenina, citosina y guanina), pero en lugar de timina (T), el ARN tiene la base equivalente uracilo, que representaremos con U.



Volvamos al flujo de la información genética. Es costumbre describirlo en términos lingüísticos, como transcripción y traducción. ¿Por qué? Tanto ácidos nucleicos como proteínas son macromoléculas (polímeros) construidas por secuencias específicas de unidades (monómeros) que tienen la información, y por ello serían como secuencias específicas de letras que comunican información, como en el lenguaje escrito. En el ADN y el ARN las unidades o “letras” serían los nucleótidos, mientras que en las proteínas serían los aminoácidos. Digamos entonces que la información en los genes está escrita en un lenguaje, de allí pasa al ARN que tiene un

lenguaje bastante parecido al anterior, para finalmente ser escrita en el lenguaje, más diferente, de las proteínas.

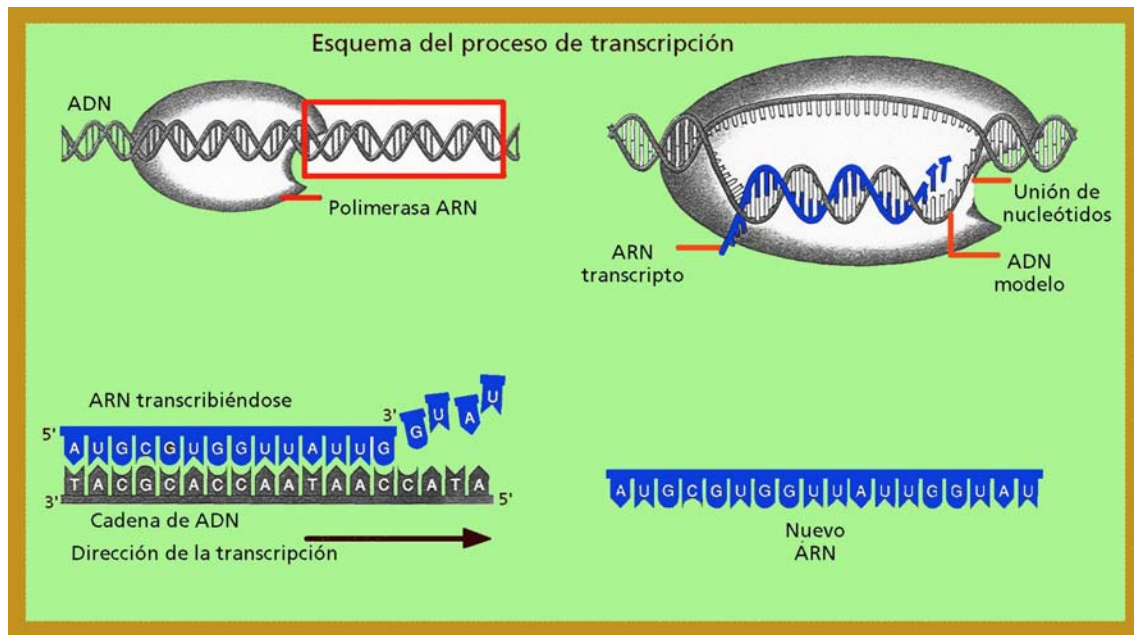


La **transcripción** es la síntesis de ARN bajo la dirección del ADN.

El ADN, que tiene dos cadenas, se abre y una sola de esas cadenas sirve de modelo para la producción de ARN. No toda la cadena será copiada, sino sólo el segmento que corresponde a un determinado gen, por eso las enzimas que intervienen (distintas de las que intervienen en la replicación del ADN, la más importante de ellas es la ARN polimerasa) deben ser capaces de reconocer el lugar de inicio del gen para poder transcribirlo correctamente.

El sitio donde comienza el gen se conoce como promotor y es una secuencia de bases en la cual se une la ARN polimerasa para iniciar el proceso de transcripción. Una vez identificado, las enzimas agregan nucleótidos de manera complementaria, al modo de cómo se replica el ADN: cada vez que el ADN tiene C, se coloca una G y viceversa, a una T le corresponde una A, pero, he aquí la diferencia, cada vez que hay una A en el ADN, se complementa con una U en el ARN, como en el esquema. Así, la transcripción es una copia casi fiel de una cadena de ADN, que lleva información para construir un polipéptido; por ello, este tipo de ARN se llama ARN mensajero (ARNm).

La **traducción** es la síntesis del polipéptido, bajo la dirección del ARN.



Hay ahora un cambio de lenguaje, la secuencia de bases de la cadena de ARN mensajero es traducida en una secuencia de aminoácidos. ¿Cómo se produce este proceso? Para entender esta traducción, los investigadores se enfrentaron con un problema básico: tanto en el ADN como en el ARN hay 4 tipos de nucleótidos o “letras”, en tanto que las proteínas están constituidas por 20 aminoácidos o “letras”. Entonces, si cada “letra” del ARN indicara una “letra” del polipéptido, sólo 4 aminoácidos, podrían ser especificados.

Siguiendo el razonamiento, podríamos suponer que el lenguaje del ARN tiene “palabras” formadas por dos “letras”, es decir dos bases determinadas especifican a un aminoácido determinado, por ejemplo AG indica tirosina. Si este fuera el caso, solo existirían 16 posibles combinaciones de las cuatro bases del ARN ( $4^2 = 16$ ), aún quedarían 4 de los 20 aminoácidos sin codificar. El próximo paso sería pensar que un conjunto de tres bases especifica la información para un aminoácido, siendo 64 las posibles combinaciones ( $4^3 = 64$ ), es decir las “palabras” estarían formadas por tres “letras” o bases, por ejemplo GAA indica treonina.

A principios de la década del 60, experimentos bioquímicos descifraron lo que hoy conocemos como **código genético** y que efectivamente resultó ser en **tripletes**, o sea una secuencia determinada de tres bases indica un aminoácido específico (“palabras” formadas por tres “letras”). También se conoce a los tripletes como **codones**, por codificar información para los aminoácidos. Existen 64 codones para 20 aminoácidos, por lo que habría más codones que aminoácidos.

Esto es así, ya que cada aminoácido es codificado por varios codones y algunos codones sirven únicamente para indicar el punto de terminación de la lectura, es decir que allí termina el polipéptido. En otras palabras hay codones sinónimos, lo cual sería una redundancia pero no una ambigüedad, ya que cada codón indica un determinado

aminoácido y solo éste. Hay también un codón de iniciación que señala el inicio de la lectura, que es el mismo que señala el aminoácido metionina.

Si miramos detenidamente la figura, vemos que los codones sinónimos tienen siempre las dos primeras “letras” iguales, cambiando la última.

Este lenguaje o código genético se dice que es universal, ya que se aplica en todos los organismos de nuestro planeta, existiendo muy pocas y menores excepciones.

Aunque el mecanismo básico de la transcripción y de la traducción son semejantes en procariotas y eucariotas, hay una diferencia importante en el flujo de la información genética dentro de las células. Como las procariotas carecen de núcleo y su ADN está en el citoplasma junto con los ribosomas, la transcripción y la traducción son procesos acoplados, de tal modo que apenas se va transcribiendo el ARNm a partir del ADN, los ribosomas inician la traducción del mensaje y sintetizan el polipéptido correspondiente.

**El código genético y su significado**

|               |   | SEGUNDA LETRA                                        |                                   |                                                          |                                                  |                  |
|---------------|---|------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------|
|               |   | U                                                    | C                                 | A                                                        | G                                                |                  |
| PRIMERA LETRA | U | UUU Fenilalamina<br>UUC<br>UUA Leucina<br>UUG        | UCU Serina<br>UCC<br>UCA<br>UCG   | UAU Tirosina<br>UAC<br>UAA Fin<br>UAG Fin                | UGU Cisteína<br>UGC<br>UGA Fin<br>UGG Triptófano | U<br>C<br>A<br>G |
|               | C | CUU Leucina<br>CUC<br>CUA<br>CUG                     | CCU Prolina<br>CCC<br>CCA<br>CCG  | CAU Histidina<br>CAC<br>CAA Glutamina<br>CAG             | CGU Arginina<br>CGC<br>CGA<br>CGG                | U<br>C<br>A<br>G |
|               | A | AUU Isoleucina<br>AUC<br>AUA<br>AUG Metionina Inicio | ACU Treonina<br>ACC<br>ACA<br>ACG | AAU Asparagina<br>AAC<br>AAA Lisina<br>AAG               | AGU Serina<br>AGC<br>AGA Arginina<br>AGG         | U<br>C<br>A<br>G |
|               | G | GUU Valina<br>GUC<br>GUA<br>GUG                      | GCU Alanina<br>GCC<br>GCA<br>GCG  | GAU Acido aspártico<br>GAC<br>GAA Acido glutámico<br>GAG | GGU Glicina<br>GGC<br>GGA<br>GGG                 | U<br>C<br>A<br>G |



### *Un aporte para el aula*

Para las explicaciones anteriores se utilizó una analogía: palabras y letras. Esta estrategia discursiva también la puede utilizar para explicar este tema a sus alumnos, siempre que no modifique el verdadero significado de los conceptos.

En cambio, en las eucariotas la existencia del núcleo separa la transcripción de la traducción en el espacio y en el tiempo. La transcripción ocurre en el núcleo y el ARNm sale del mismo por los poros nucleares hacia el citoplasma. Pero antes de que eso suceda, hay un procesamiento del ARNm recién transcrito gracias al cual es modificado para producir el ARNm definitivo. Normalmente ocurren dos tipos de cambio:

- enzimas que modifican ambas terminaciones (inicio y final) del ARNm agregándole nucleótidos; estas adiciones son importantes ya que protegen al ARNm contra la degradación, facilitan su exportación al citoplasma y llevan señales para que los ribosomas se unan al ARNm.
- otras enzimas cortan regiones del ARNm, las cuales son desechadas, y unen las restantes partes funcionales que serán traducidas. En promedio, el ARNm recién transcrito tiene unos 8.000 nucleótidos, pero de ellos apenas unos 1.200 codificarán para un polipéptido de unos 400 aminoácidos. Los segmentos de ARNm que serán cortados y desechados se conocen como **intrones**, en tanto que aquellos que se expresarán, es decir que formarán parte del ARNm que sale del núcleo y se traduce, se llaman **exones**. Curiosamente, estas regiones están entremezcladas de este modo: exon-intron-exon-intron-exon, de modo que las enzimas efectúan varios cortes y uniones para llegar al producto final que sería: exon-exon-exon, en el caso citado.

Una vez que el ARNm se encuentra en el citoplasma, sea en procariotas o en eucariotas, ocurre su traducción. Para ello, es indispensable la participación de los ribosomas. Son los más pequeños orgánulos citoplásmicos y están constituidos por dos subunidades: una mayor y una menor, formadas por proteínas y ARN ribosómico (ARNr). En eucariotas, los genes de ARNr se transcriben y las subunidades se arman en el nucléolo. Tanto en procariotas como en eucariotas, ambas subunidades ribosomales se acoplan para formar un ribosoma funcional cuando se unen a una molécula de ARNm.

Un tercer tipo de ARN, el ARN de transferencia (ARNt) es esencial para la traducción.

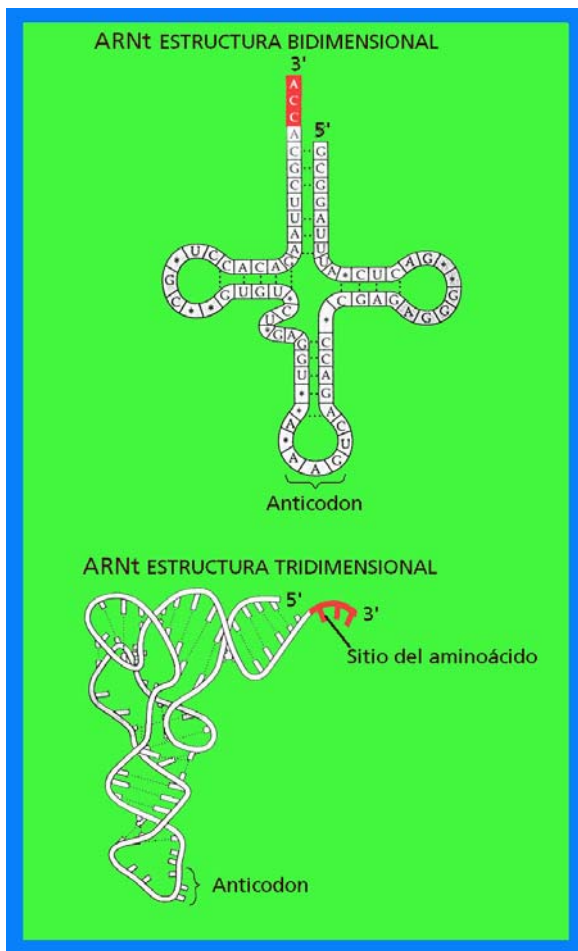
El ARNt es la molécula que lee el mensaje escrito en el codón y coloca el aminoácido correspondiente al mismo. Para “leer”, cuenta con lo que se llama **anticodón** que, como su nombre lo indica, es un triplete complementario al codón del

ARNm. Para cada codón, hay uno o varios ARNt, y cada uno reconoce al aminoácido correspondiente. Su estructura refleja su función, ya que tiene en un extremo el anticodón para identificar el codón y en el extremo opuesto tiene un sitio para llevar el aminoácido correspondiente al codón en cuestión.

El ribosoma también muestra una estructura que refleja su función. Tiene un espacio entre las dos subunidades donde se ubica el ARNm, y posee tres sitios: uno para el aminoácido, otro para el polipéptido y otro llamado de salida.

El proceso de traducción consta de tres estadios: iniciación, elongación y terminación. Los tres requieren proteínas (conocidas como "factores") que participan junto con el ARNm, el ARNt y los ribosomas en este proceso. También se requiere energía para la iniciación y la elongación. Esta energía es provista por el GTP (guanosín trifosfato), una molécula estrechamente relacionada con el ATP. Analicemos

las etapas del proceso.

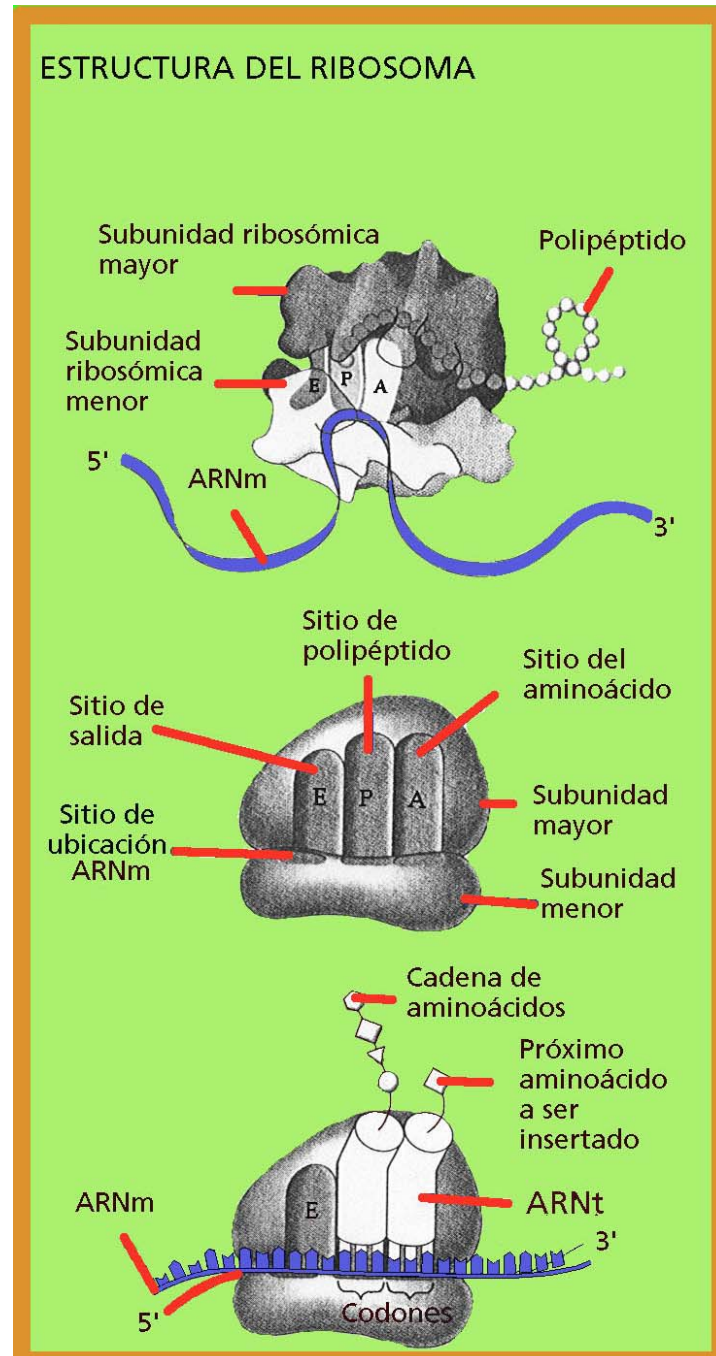


- **Iniciación:** la subunidad menor del ribosoma se une al ARNm. El mensaje comienza con el codón de iniciación (AUG) el cual es reconocido por un ARNt especial. Una vez que esto ocurre, se une la subunidad mayor del ribosoma y comienza la traducción del mensaje.
- **Elongación:** los ARNt con los aminoácidos correspondientes unidos a él se denominan aminoacil-ARNt. Con su anticodón, reconocen el codón respectivo en el mensaje del ARNm y el aminoacil-ARNt adecuado se ubica en el sitio del aminoácido de la subunidad mayor del ribosoma. Una enzima (peptidil transferasa) cataliza la unión peptídica entre los aminoácidos consecutivos. Luego, el aminoacil-ARNt se corre al lugar del péptido en

la misma subunidad del ribosoma. Por último, el ARNt se corre al sitio de salida y se desprende del ribosoma, habiendo quedado el aminoácido inserto en la cadena polipeptídica naciente. Así, el mensaje del ARNm se va traduciendo y la cadena polipeptídica que se va formando se alarga paulatinamente, aminoácido por aminoácido.

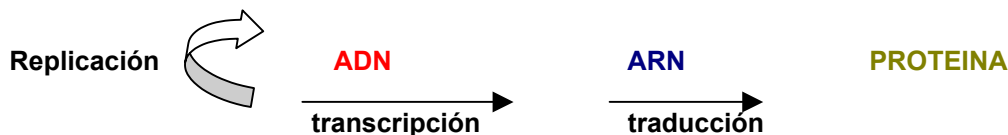
- **Terminación:** el mensaje del ARNm concluye con un codón de terminación (UAA, UAG, o UGA). A este codón, se le une una proteína especial conocida como factor de liberación, que se acopla al sitio del aminoácido del ribosoma y provoca la separación del polipéptido del ribosoma. Cuando esto ocurre, las subunidades del ribosoma también se desprenden y están listas para iniciar un nuevo ciclo.

Observe la figura siguiente.





En resumen, expresamos lo que se conoce como dogma central de la biología molecular. Observe el largo proceso recorrido desde que se lo presentamos como idea síncretis.



Un gen determinado o segmento de ADN es transcrito, produciendo una molécula de ARNm complementario a una de las cadenas de ADN, y que moléculas de ARNt traducen la secuencia de bases del ARNm en la secuencia apropiada de aminoácidos de un polipéptido o proteína.

La concepción actual del dogma central fue modificada con el hallazgo de virus que tienen ARN como material genético en lugar de ADN, por ejemplo el virus del SIDA o del conocido como “mosaico del tabaco”, entre otros. Estos virus hacen copiar ADN a partir de su ARN, en un proceso reverso a la transcripción, y luego se reinicia el proceso normal.



#### ACTIVIDAD N° 4

Como usted habrá podido observar, la duplicación del ADN y la síntesis proteica son procesos complejos. En este sentido, nos parece apropiado realizar una revisión que permita reconstruir e integrar con más claridad, lo trabajado.

Resuelva las siguientes cuestiones:

Retome la idea síncretis inicial referida al dogma central de la Biología a modo de eje conceptual general, desglóselo en subtemas para elaborar un esquema.

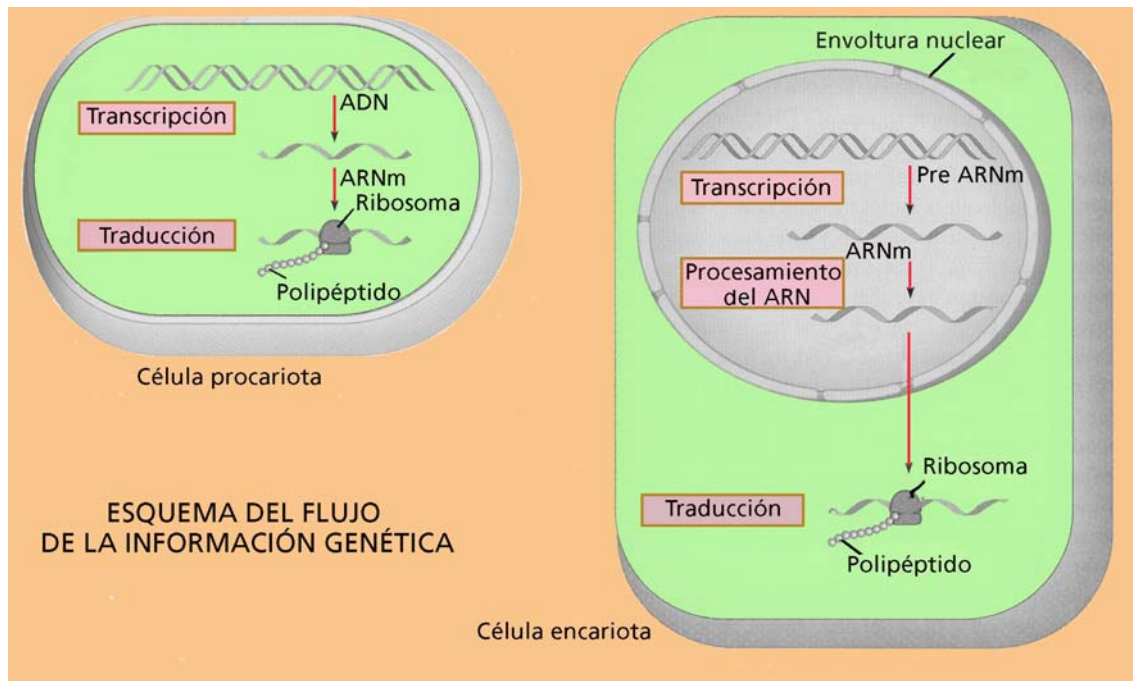
Elabore una línea histórica con la secuencia de las investigaciones y sus resultados que permitieron reconocer el ADN como la molécula que tiene la información hereditaria.

Conteste las siguientes preguntas ¿qué molécula resulta más estable, la de ADN o la de ARN? ¿por qué?, ¿qué quiere decir que las dos cadenas que forman el ADN son complementarias y que el ARN es complementario del ADN del cual se origina?

Remítase a la siguiente figura e indique similitudes y diferencias en el flujo de la información genética en procariotas y eucariotas.

¿Cree que esta actividad podría ser resuelta por los alumnos? Justifique sus respuestas.

Elabore otras cuestiones que podría preguntar sobre estos temas a sus alumnos. Sus propuestas deberían abarcar tanto las conceptualizaciones biológicas como la propuesta metodológica que acompaña a los hallazgos.



## La regulación génica y las mutaciones

### *¿Cómo se regula la expresión de los genes?*

Con la respuesta a esta pregunta completaremos el análisis funcional del ADN.

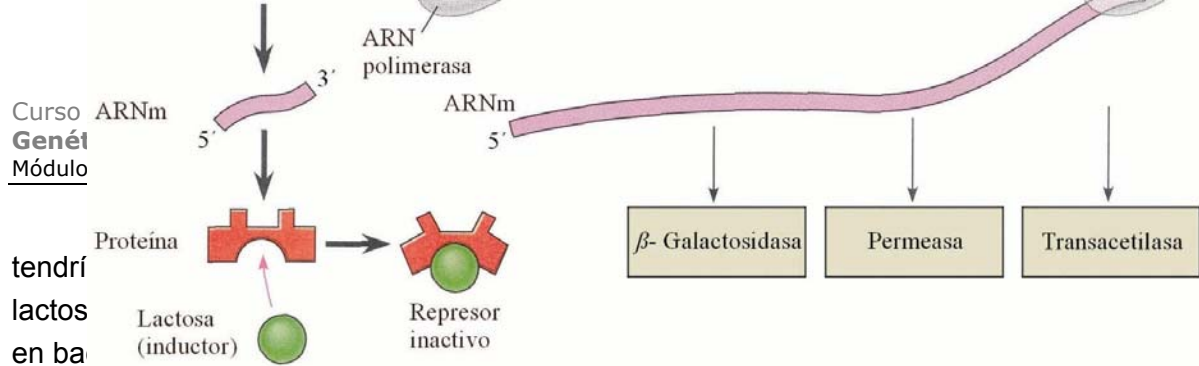
El proceso de expresión génica, como acabamos de ver, es complejo. Podríamos preguntarnos si sería razonable y tendría sentido que las células tuvieran todos sus genes funcionando todo el tiempo. Si tenemos en cuenta que los genomas (conjunto de todos los genes) de las eucariotas tienen decenas de miles de genes, se plantea la pregunta: ¿cuáles de esos genes se expresarán?. Lo mismo es válido para las procariotas, aunque su genoma tenga menor cantidad de genes.

Tanto los organismos unicelulares como las células de los organismos multicelulares deben continuamente activar y desactivar ciertos genes en respuesta a señales del ambiente externo e interno. Además, en seres complejos con gran diferenciación de células y tejidos, las células altamente especializadas expresarán sólo una pequeña fracción de todos sus genes; por ejemplo, una célula humana típica expresa 3-5% de sus genes en un momento determinado. Así, las enzimas que transcriben el ADN deben localizar los genes adecuados en el momento adecuado; lo cual es más o menos como encontrar una aguja en un pajar. Este proceso, conocido como **regulación génica**, es extremadamente complejo tanto en procariotas como en eucariotas, pero tiene una tremenda importancia, ya que cuando no hay regulación en la expresión de los genes ocurren desequilibrios graves que pueden ocasionar enfermedades, como por ejemplo el cáncer.

En general, los sistemas de regulación o control consisten en ciertas moléculas, como por ejemplo las **proteínas reguladoras**, que pueden actuar durante la transcripción, la traducción o después de la traducción. Varios componentes de estos sistemas pueden interactuar con el ADN, el ARN o las proteínas producto de ellos, pueden operar en respuesta a señales extracelulares como hormonas, o bien a cambios en la concentración de sustancias dentro de la misma célula. Hay dos tipos básicos de control: sistemas de regulación negativos que bloquean la actividad génica o bien sistemas de regulación positivos que la estimulan. Examinemos separadamente algunos ejemplos de regulación génica en procariotas y en eucariotas.

### *En procariotas*

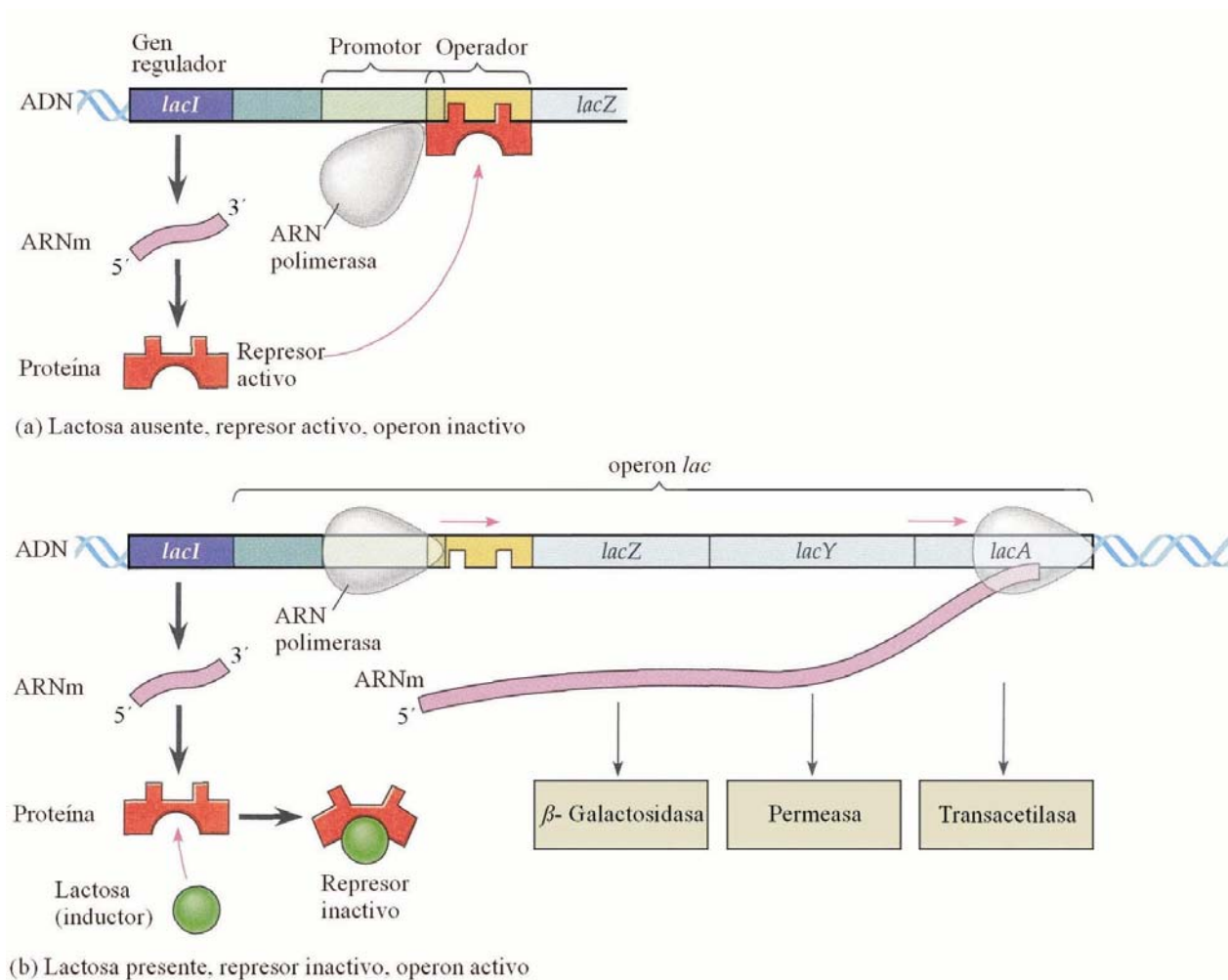
Las bacterias pueden crecer y dividirse indefinidamente cuando las condiciones ambientales lo favorecen. Su regulación promueve la rápida síntesis de enzimas apropiadas que intervienen en la digestión de compuestos presentes en el medio. No



(b) Lactosa presente, represor inactivo, operon activo

**Un sistema inducible:** este caso se basa en estudios efectuados en *Escherichia coli*, la bacteria intestinal común de los mamíferos incluyendo al hombre. Cuando los mamíferos toman leche, estas bacterias necesitan las enzimas apropiadas para digerirla, de lo contrario estos genes no se transcriben. En este caso, hay un conjunto de genes que actúan en coordinación y que tienen funciones relacionadas conocido como **operón**, en él se encuentran en orden de aparición; los siguientes genes:

- un gen regulador cuyo producto de transcripción es una proteína reguladora conocida como represor, que en este caso es activo;
- el promotor es la región del ADN en la cual se inserta la ARN polimerasa para iniciar la transcripción; dicha región precede a la secuencia que codifica a los aminoácidos de la proteína específica;
- el operador, ubicado entre el promotor y los tres genes antes citados, que representa el sitio en el cual se une el represor y
- tres genes que codifican para tres enzimas requeridas en la digestión de la lactosa: gen 1 que produce  $\beta$ -galactosidasa, gen 2 que codifica permeasa y gen 3 de acetilasa.



Si la concentración de lactosa es baja, el represor se ubica en la región del operador. Como es una molécula larga, ocupa también una porción del promotor, impidiendo que en él se ubique la enzima ARN polimerasa que es la encargada de la transcripción.

Cuando la concentración de lactosa es alta, indicio de que la bacteria necesitará las enzimas para digerirla, las mismas moléculas de lactosa se unen con el represor y le alteran su forma, por lo cual ya no pueden ubicarse en el operador. Así, la ARN polimerasa se ubica en el promotor y los genes se transcriben y se traducen rápidamente. Por ello, se llama **inductor** a la lactosa, ya que actúa induciendo que el sistema comience la transcripción.

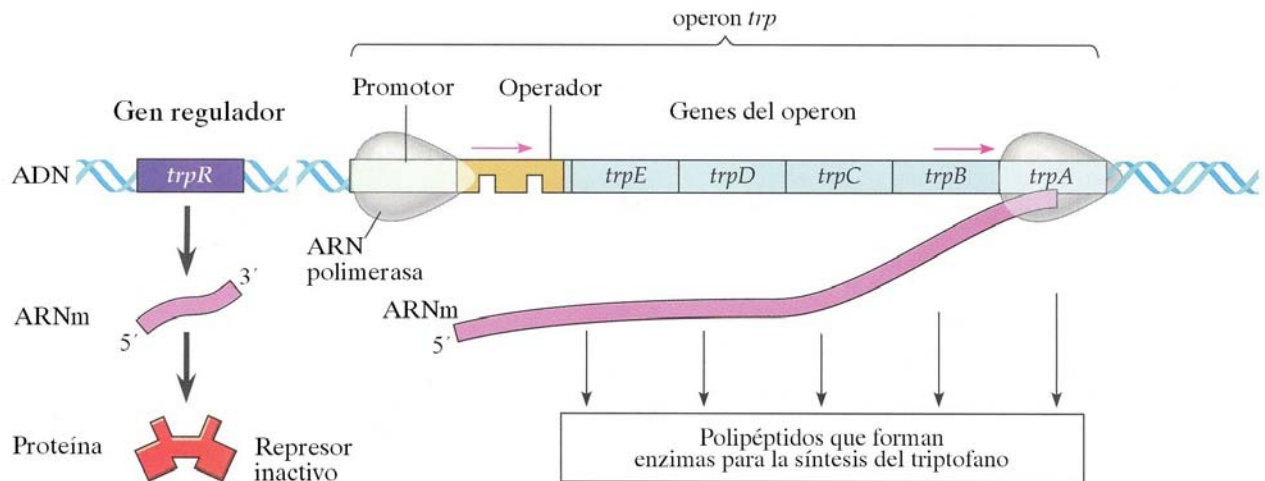
Es decir que, estos genes sólo se transcriben cuando son necesarios: se encuentran normalmente "apagados" y entran en funcionamiento cuando hay lactosa en el medio, que es la sustancia inductora.

**Un sistema reprimible:** Este tipo de sistema de regulación puede ejemplificarse también a través de la bacteria *E. coli*. Es un sistema similar al anterior, es decir otro

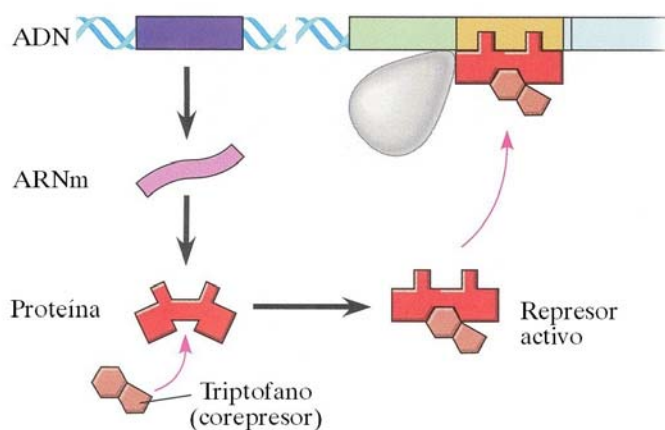
operón, involucrado en la síntesis del aminoácido triptófano. Este operón está conformado así:

- un gen **regulador** que produce un **represor** pero, a diferencia del caso anterior, este represor es inactivo, es decir no se une al sitio del operador;
- un **promotor**;
- un **operador** y
- cinco genes que codifican para otras tantas enzimas requeridas en la síntesis del triptófano a partir de un precursor.

Este sistema se encuentra "encendido", es decir normalmente los genes involucrados serán transcritos ya que el represor no es activo. Este sistema genético



(a) Triptófano ausente, represor inactivo, operon activo



(b) Triptófano presente, represor activo, operon inactivo

deja de funcionar por la presencia de una molécula que lo inactiva. Esa molécula es el mismo triptófano. Cuando el sistema está activo un buen tiempo y se acumula mucho triptófano en el célula, el triptófano funciona como **corepresor**: se une al represor, le

altera su forma y lo activa, entonces el represor activo se ubica en el operador impidiendo, como en el caso anterior, que la ARN polimerasa continúe la transcripción.

### *En eucariotas*

Los organismos multicelulares eucariotas, con cientos, millones o trillones de células requieren una regulación génica más intrincada ya que a medida que crecen y se desarrollan la actividad génica debe cambiar. Todas sus células proceden de una única célula primera (el cigoto) y a partir de la misma se producirán las distintas células del cuerpo con composición, estructura y funciones diferentes. Este proceso de diferenciación celular sucede a medida que los organismos se desarrollan y las células descendientes activan o desactivan determinados genes, así por ejemplo en mamíferos, sólo los glóbulos rojos inmaduros activan los genes para la producción de hemoglobina.

Como se aprecia en la siguiente figura, en eucariotas la regulación génica puede tener lugar en varias instancias: en la cromatina, durante la transcripción, en el procesamiento del ARN, luego de la transcripción, durante la traducción o después de la misma. A continuación se exponen algunas formas de la compleja regulación génica de eucariotas.

**Papel de la cromatina:** la estructura de la cromatina (ADN + proteínas) será analizada en el próximo capítulo, siendo su principal función empaquetar en forma compacta el ADN en el núcleo. Su otra función es regulatoria: dependiendo de su estado, los genes pueden ser transcritos o no. Cuando la cromatina está altamente condensada (heterocromatina) usualmente los genes ubicados en ella no se expresan; en cambio, en la eucromatina, sin condensar, los genes pueden ser fácilmente transcritos.

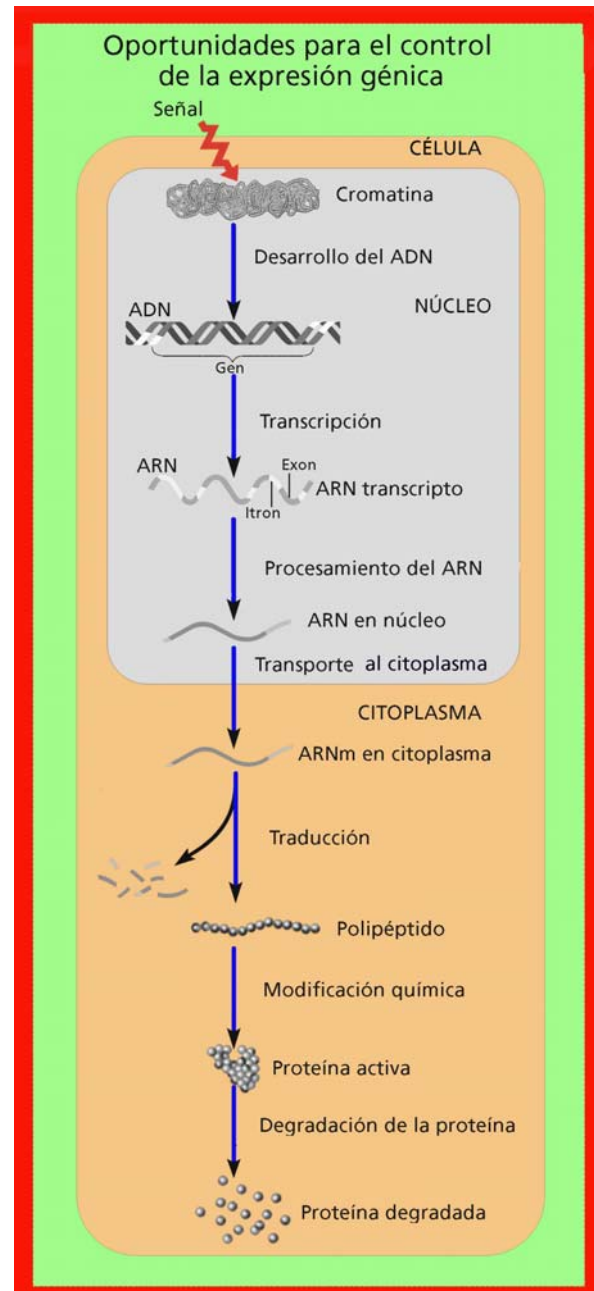
Las proteínas histónicas, que forman parte de la cromatina, pueden sufrir acetilación, o sea agregado de grupos acetilo, y entonces modifican la estructura de la cromatina haciéndola más laxa y permitiendo así que las enzimas encargadas de la transcripción actúen sin dificultad.

Puede ocurrir, por último, metilación de bases del ADN, es decir grupos metilo se unen a las bases del ADN. Generalmente, el ADN altamente metilado es inactivo, lo cual parece ser esencial en la desactivación a largo término de los genes.

**Control sobre la transcripción:** existen varias proteínas, conocidas como factores de transcripción que se unen al ADN y controlan la transcripción de determinados genes de diversa manera. Por ejemplo, algunos actúan como aumentadores, otros como activadores o bien como silenciadores, se han descubierto cientos de estos factores en eucariotas.

**Controles post-transcripcionales:** el procesamiento posterior a la transcripción, por el cual se cortan los intrones y se unen los exones, puede ser un mecanismo regulatorio que da oportunidades para impedir que algunos ARNm se desplacen hacia citoplasma y puedan expresarse. Esto se lleva a cabo por degradación del ARNm.

Cuando el ARNm alcanza el citoplasma, pueden ocurrir **controles en la traducción:** se puede bloquear la síntesis del polipéptido gracias a proteínas regulatorias que impiden la unión de las subunidades ribosomales. Y aún más, cuando la proteína ya se ha formado a veces requiere modificaciones posteriores para ser activa. Estos mecanismos se pueden usar en diversa medida para transformarlas en inactivas o para degradarlas por completo antes que puedan ser útiles.



Hasta aquí hemos analizado los **aspectos estables** del flujo de la información genética, los cuales permiten que la vida se pueda reproducir y que los descendientes reciban la información necesaria para su supervivencia. Veremos ahora sus aspectos **cambiantes**, es decir aquellos que modificarán de alguna manera la información genética.

*¿Cómo se producen los cambios en la información genética?*

*Lo único inmutable es la mutación. (Proverbio chino).*

Antes de analizar estos aspectos, de capital importancia en la evolución, es preciso tener bien en claro la estructura y dinámica de la información génica.

Si la información genética se transmitiera de manera siempre idéntica, no habría cambios y nunca aparecerían diferencias entre los descendientes y sus progenitores. Y sabemos que existen. Las **mutaciones** son cambios en el material genético de una célula o un virus. Específicamente se las llama mutaciones de punto, y químicamente son cambios en uno o en pocos pares de bases del ADN. Según hemos visto anteriormente, este cambio tendrá implicancia en la proteína que se traduzca a partir del mismo.

### *Un aporte para el aula*

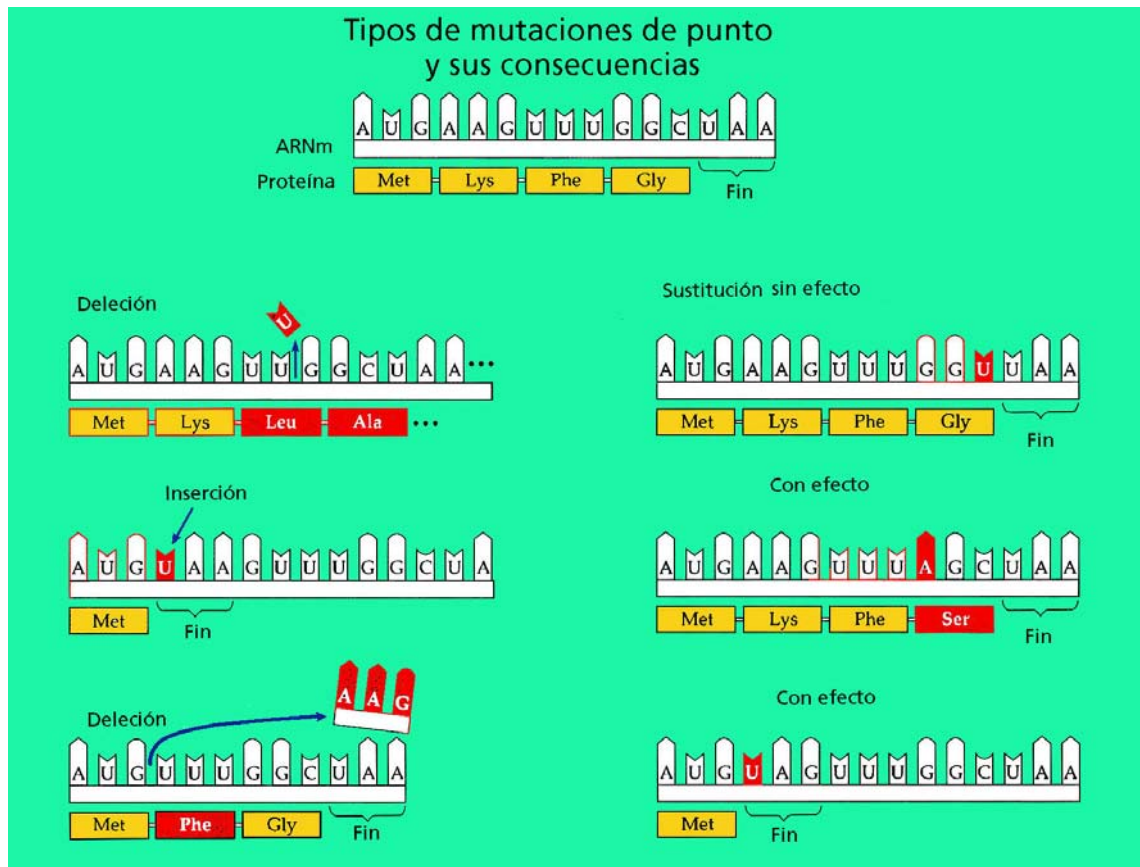
**Una pregunta significativa... ¿cuál es la consecuencia, en términos hereditarios, si la mutación ocurre en una gameta o si ocurre en una célula somática?**

Las posibles causas de la mutación génica son varias. La mayoría se originan espontáneamente cuando el ADN se copia. Puede parecer sorprendente, pero considerando la velocidad de la replicación y la longitud del ADN a copiar, un número de errores se escapan a las enzimas que reparan las copias recién hechas. Existen también los llamados agentes mutagénicos, que son agentes físicos o químicos que interactúan con el ADN y causan mutaciones; por ejemplo, los rayos X y los rayos ultravioletas entre los físicos (recordar la enfermedad xeroderma pigmentosum), y varios compuestos químicos tanto naturales como artificiales que aceleran la tasa de mutaciones espontáneas, siendo los más comunes los llamados agentes alquilantes.

### *¿Cuál es el efecto de las mutaciones en los organismos?*

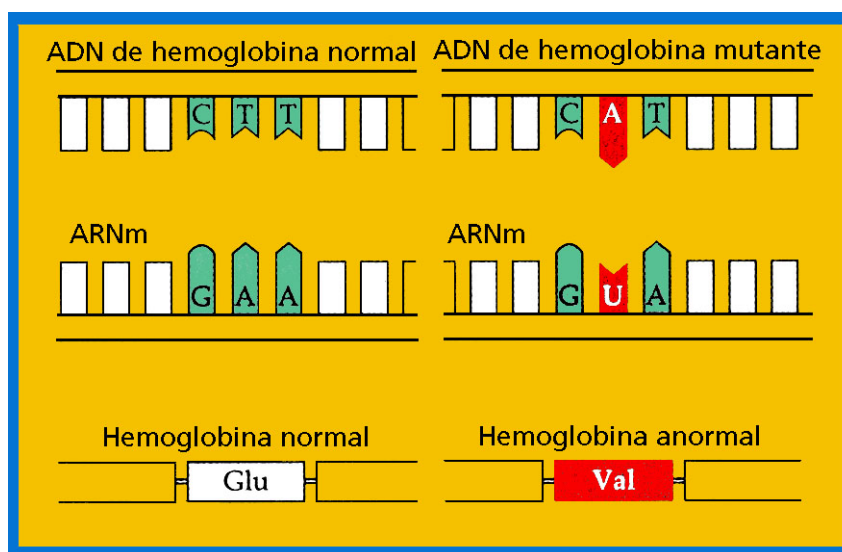
Si bien todas las mutaciones son alteraciones en la secuencia de nucleótidos de un determinado gen, su efecto es variable en el organismo que la posee.

La mutación más simple es la sustitución de un par de bases por otro. Teóricamente, esto resultaría en la sustitución de un aminoácido por otro en la proteína final. Sin embargo, si se reemplazara un codón por otro sinónimo, no habría cambios en la proteína final. En este caso, se las llama mutaciones silenciosas.



Otras veces, el cambio de un aminoácido no afecta la función de la proteína resultante, sea porque no cambia la estructura general de la proteína o porque el cambio no afecta su función. Se trata entonces, como en el caso de la mutación silenciosa, de mutaciones neutras, es decir ni beneficiosas ni perjudiciales.

Hay situaciones, no obstante, en las que la modificación de un único aminoácido puede ser trascendental para la estructura de la proteína codificada. Es el caso de la enfermedad hereditaria humana llamada “anemia falciforme”. La hemoglobina es una proteína de los glóbulos rojos compuesta básicamente de cuatro polipéptidos: dos alfa y dos beta, unidas a cuatro átomos de hierro. Un cambio de un aminoácido en la cadena beta, causa una deformación en la molécula de hemoglobina que a su vez produce una malformación en los glóbulos rojos de los portadores, lo cual ocasiona la enfermedad. Todo, por un único aminoácido cambiado!



Si en lugar del reemplazo de un nucleótido por otro, el cambio consiste en la adición o eliminación de un nucleótido, el problema es diferente. Cuando ocurren inserciones (agregado de un nucleótido a la cadena de ADN) o deleciones (pérdida de un nucleótido), la lectura del mensaje genético se complica a partir del lugar donde ha ocurrido. En ambos casos, se llaman mutaciones con cambio de marco de lectura, ya que a partir del nucleótido agregado o quitado, el mensaje cambiará por completo y la proteína será absolutamente distinta de la originalmente codificada.

En estos casos, las mutaciones son perjudiciales, y hasta pueden ocasionar la muerte de los portadores. Pero, en contadísimas ocasiones, podrían ser beneficiosas, generando un producto que supere al que inicialmente estaba codificado. Sea cual sea su efecto, las mutaciones son la base del cambio evolutivo. Son la fuente primaria de **variación** en los seres vivos, ya que producen modificaciones en los genes que los hacen diferentes de los que fueron heredados. Si estas mutaciones ocurren en células somáticas o del cuerpo, no tendrán importancia poblacional o evolutiva, ya que cuando mueran los individuos, las nuevas mutaciones desaparecerán. Pero si ocurren en células gaméticas, esos genes mutados podrán pasar a las siguientes generaciones y, tal vez, establecerse en la población.

Ahora que estamos casi al final del capítulo, retomemos la idea de que las proteínas no tienen un papel fundamental en la herencia. Como vimos, a principios del siglo XX se creía que podían jugar un papel importante, pero dicho papel fue atribuido más tarde al ADN. En la actualidad, vuelven al contexto explicativo de la herencia en unas situaciones muy particulares, como se explica seguidamente.

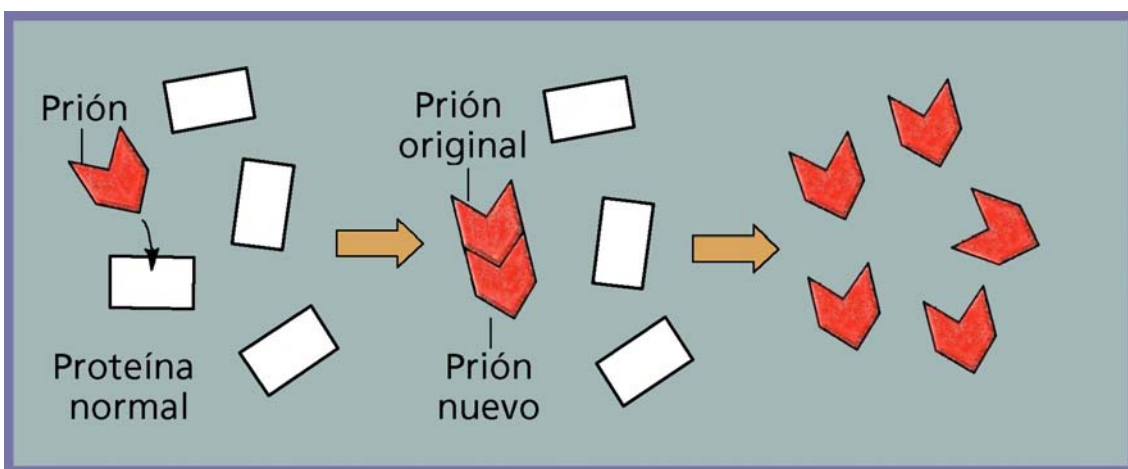
## Las proteínas y los priones

*¿Las proteínas pueden jugar algún papel que no se había sospechado?*

Quedó claro que las proteínas no pueden replicarse y que no son el material hereditario. Sin embargo, algunas investigaciones sugieren que ciertas proteínas pueden transmitir enfermedades... Se trata nada más y nada menos que de la “vaca loca”, que ocupa los titulares de todo el mundo, pero más en Europa donde ha costado ya muchas vidas.

Vayamos al principio, aunque es aún difícil de explicar la evidencia de que hay proteínas infecciosas. Existen proteínas que parecen causar un número (al menos ocho) de enfermedades degenerativas del cerebro en mamíferos. Se conoce a esas proteínas con el nombre genérico de **priones**, teniendo las diversas enfermedades una denominación particular, por ejemplo en los vacunos se llama enfermedad de la vaca loca y en el hombre, enfermedad de Creutzfeldt-Jakob.

¿Cómo puede una proteína que no se replica, ser un agente infeccioso? De acuerdo con una hipótesis, los priones son formas anormales de proteínas que se encuentran corrientemente en las neuronas o células nerviosas. Cuando un prion entra en una neurona que tiene dicha proteína en su forma normal, la deforma convirtiéndola en su forma anormal, como se puede apreciar en la figura siguiente.



De esta manera, los priones producen una especie de reacción en cadena que va sistemáticamente cambiando las proteínas normales en anormales, lo cual

desencadena la enfermedad, la que siempre es fatal. Es como si estas proteínas defectuosas hicieran “mutar” a las normales a su mismo estado.

Los priones causan enfermedades en ovejas y cabras llamadas “scrapie”. Cuando las vacas han comido cerebros de ovejas o cabras enfermas, adquieren la enfermedad de la vaca loca y, por fin, cuando humanos comen carne de vacas con dicha enfermedad, contraen la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob. Esta provoca pérdida de la visión y del habla, deterioro mental muy rápido y parálisis espástica. Es fácil de evitar la infección si se matan y no se consumen los animales infectados, y en rigor eso se hace en la actualidad, pero ya están en la cadena trófica muchos priones...

Hace más de treinta años un investigador (Tikva Alper) propuso la existencia de un agente infeccioso que no tenía ácidos nucleicos. Trabajos siguientes de Stanley Prusiner condujeron a descubrir las proteínas implicadas en estas enfermedades y a elaborar la hipótesis que acabamos de explicar. Todavía continúa este debate de 30 años acerca de si las proteínas son directamente infecciosas o si tienen pequeñísimos virus aún no descubiertos. Aún si los priones son los agentes infecciosos, su mecanismo de acción es desconocido, pero S. Prusiner tuvo el Premio Nobel en 1997 por sus trabajos y su hipótesis.

## Otras Aproximaciones didácticas

### La historia de la ciencia como recurso didáctico

Otra manera de revisar lo analizado a lo largo de este capítulo, es reconstruyendo el trayecto realizado.

En los últimos años ha aumentado considerablemente el interés de los didactas y profesores de ciencia por tomar como eje o hilo conductor de las unidades didácticas a la historia de las ciencias. El repaso histórico permite ver las dificultades y aciertos que posibilitaron construir una teoría. ¿Para qué nos puede ayudar el análisis de los episodios históricos en el aula?

- Para identificar las ideas previas de los alumnos, incluidas en la explicaciones y respuestas a nuestras preguntas. Por ejemplo, al querer explicar las hipótesis de Griffith o al formular hipótesis respecto de las causas del cáncer.
- Para que tanto el docente como los alumnos identifiquen los conceptos fundamentales y su relación lógica; comprendan que un conocimiento tiene sentido en un contexto y transfieran este análisis al proceso de aprendizaje. Es decir, visualizar que una idea del alumno es relativa al momento de su aprendizaje y a la estructura conceptual con que cuente en ese momento, cuya modificación será posible más adelante. Además, advertir que la producción del conocimiento no es lineal. Por ejemplo, la secuencia de preguntas que conforma el capítulo recrea la línea histórica de las investigaciones sobre el tema y da lógica significativa a dicha secuencia. No obstante, en algunos casos hay replanteos de hipótesis o investigaciones paralelas.
- Las discusiones de algunos hechos polémicos -por el contexto social en que ocurrieron o por su relación con el alcance social o tecnológico que lograron-, pueden ayudar a generar cambios de opiniones, favorecer el análisis de los conceptos y motivar su estudio. Por ejemplo, un tema polémico es el rol de las proteínas y la transferencia o aplicación de determinados hallazgos al campo de la salud.
- Las mostraciones ejemplificadoras de los aspectos metodológicos permiten analizar el complejo camino de una indagación y descartar las ideas acerca de que en investigación científica se puede, ante un hecho, dar respuestas seguras y rápidas, producto de alguna generalización. Esto sucede cuando hay desencuentros entre lo que el investigador prevé que podría suceder (en base a su teoría) y lo que demuestran los datos que surgen de sus experimentos. Esto requiere modificar la hipótesis, el diseño de la experiencia

u otro factor. Por ejemplo, cuando Griffith plantea la hipótesis que guían los experimentos 5 y 6, en base a los resultados del experimento 4.

- Lo anterior también puede valer para poner en evidencia el desacuerdo y contraste entre las explicaciones y/o metodologías de trabajo de los alumnos respecto de las de la ciencia. Esto es importante ya que un cambio de concepción va acompañado de un cambio metodológico y el alumno debe tomar conciencia y vivenciar, si es posible, estos procesos.
- Finalmente ayuda a valorar el trabajo de la comunidad científica y el tiempo que lleva producir un nuevo conocimiento.

Como expresa Giordan (1988) “Enseñamos teoría sin relacionarla con las concepciones que han precedido al descubrimiento, y que habían motivado las hipótesis y su contrastación. ¿Qué sentido pueden tener las experiencias de Lavoisier si no hablamos de la teoría del flogisto? ¿Qué interés tiene hoy la noción de adaptación cuando la enseñamos sin referencia a la teoría de la evolución? ¿No se tiene excesiva tendencia a descontextualizar los conocimientos y los métodos científicos y a hacerles perder todo su valor formativo, olvidando enseñar las condiciones de su nacimiento, las preguntas que intentaron responder y la funciones para los que fueron creados los conceptos y los métodos?”...

En los capítulos siguientes presentaremos otros elementos para profundizar el diseño de unidades; entonces podrá revisar las propuestas que usted ha realizado en las actividades de este capítulo. No obstante ya debe tener en claro qué enseñar y cómo enseñarlo, desde una perspectiva histórica que recrea el quehacer científico.

A modo de cierre del capítulo, dos frases para seguir reflexionando:

*En ciencia, lo importante es saber preguntar, no responder.*

*Si uno inicia una indagación tonta,  
la respuesta también lo será.*

*Si la pregunta es inteligente,  
el resultado será siempre bueno.*

*La respuesta viene con trabajo,  
la pregunta, con inspiración.*

**Marcelo Gleiser**

*Para que algo valga como respuesta,  
hace falta que previamente exista la pregunta.*

*He aquí por qué tantas cosas claras  
permanecen sin ser vistas.*

**Ernst Bloch**

## Actividad de integración



### ACTIVIDAD N°5

Le proponemos responder a un conjunto de interrogantes que le permitirán no sólo revisar el papel de las proteínas y el proceder en ciencias, sino también todo lo visto, tanto respecto de los contenidos como de la metodología.

- 1) Sobre la base del texto con el título “¿Las proteínas pueden jugar algún papel que no se había sospechado?” y, en relación con los aspectos metodológicos vistos, responda:
  - a) ¿Cuál es el problema que se plantea en el texto? ¿Cuál es la hipótesis? ¿Cuáles son los hechos que permitieron aportar evidencias a favor de la hipótesis?.
  - b) En relación con los conceptos involucrados podemos preguntarnos:  
¿Qué conclusión provisoria podemos sacar sobre el rol de las proteínas en la transmisión de enfermedades?.
  - c) Si se hace una mirada histórica, ¿cree que vuelve a ser importante el tema de las proteínas? ¿Por qué?
  - d) ¿Por qué es importante tratar con los alumnos temas de salud como el de los priones en el contexto de la enseñanza de la información genética a nivel molecular?
  - e) ¿Qué contenidos conceptuales deberían conocer sus alumnos para comprender el texto de los priones tal cual se lo presentamos?

Las siguientes son formulaciones de contenidos actitudinales. Analice si son pertinentes en relación con el texto sobre priones que le presentamos. De no ser así formule los contenidos actitudinales que usted considera posible trabajar con dicho texto. Fundamente sus decisiones.

*Valoración de la importancia e impacto de los descubrimientos sobre el flujo de la información genética en los seres vivos, en especial para el hombre y la salud*

*Reconocimiento del proceso dinámico en la producción de los conocimientos científicos, cambiantes y relativos a un contexto histórico.*

- f) Diseñe una actividad para indagar las ideas previas de sus alumnos sobre la estructura y la dinámica de la información genética en el nivel molecular. Esta actividad deberá basarse en un texto elaborado por usted que proporcione información sobre virus y priones, y una serie de preguntas o problemas.

Quizás le sea útil seleccionar información de algún libro de texto o bien de artículos de divulgación de diarios o revistas, adaptando esa información a la necesidad de indagar las ideas previas de sus alumnos (reales o hipotéticos).

## Actividades de autoevaluación



### ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1) Para integrar los diferentes conceptos didácticos trabajados en el capítulo le solicitamos responda a los siguientes interrogantes:
  - a) ¿Con qué finalidad cree usted que podrá utilizar en sus clases el hecho histórico del cual estamos participando y le presentamos en el artículo “La revolución genética, la noticia del año” del diario La Voz del Interior, del 24/12/2000?
  - b) ¿Qué tipo de contenidos conceptuales, procedimentales o actitudinales, le permitirá presentar?
  - c) ¿En qué medida una actividad como la de la pregunta a) podría favorecer la alfabetización científica? ¿Cree que la revisión histórica aporta a la alfabetización científica? ¿Por qué?
  - d) ¿Cómo aporta el análisis histórico al logro de las finalidades para la enseñanza de las ciencias expresadas al comienzo del capítulo?
- 2) Revise e integre el flujo de la información genética y resuelva la siguiente problemática:

Un segmento de ácido nucleico tiene la siguiente secuencia: AAGCCTGAC

  - a) Se trata de ADN o ARN ¿Por qué?
  - b) Si fuera ADN, ¿cuál sería la secuencia de la cadena complementaria?
  - c) Si se formara ARN a partir de la cadena complementaria, ¿cuál sería su secuencia?
  - d) Si a partir de esta última se formara un polipéptido, ¿cuál sería su composición de aminoácidos? Para contestar este interrogante busque el significado de los codones.
- 3) Como usted sabe los glóbulos rojos humanos son células que carecen de núcleo. Entonces,
  - a) ¿cómo responde y justifica las siguientes preguntas:
    - 1) ¿contienen proteínas?
    - 2) ¿contienen ADN? ¿Dónde?
    - 3) ¿pueden sintetizar proteínas?
    - 4) ¿pueden dividirse?

- b) Si bien el conocimiento anterior en alguna medida resulta obvio, es problemático a la hora de fundamentar cada respuesta.

Cree que es significativo trasladar estos interrogantes a sus alumnos? ¿Por qué?

- 4) Para trasladar los conceptos a un caso práctico le solicitamos resolver el siguiente problema. Dada la siguiente secuencia de ADN: ATTCGAGCA,

Cómo podría explicar, ¿qué es una mutación génica?

Mencione algún tipo específico que conozca usando la secuencia dada y diga cuál sería la posible consecuencia para el organismo que la tuviera.

## Clave para las respuestas de las actividades de autoevaluación

Recuerde que lo que ofrecemos aquí son pautas o recursos conceptuales para que usted mismo evalúe el trabajo realizado.



### ACTIVIDAD N° 1

La finalidad podría estar relacionada con iniciar una discusión sobre contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que aparecen en el artículo.

Por ejemplo, si leyéramos con nuestros alumnos esta noticia y la comentáramos se generarían preguntas como las siguientes:

Conceptuales: ¿qué es el código genético?, ¿qué implica descifrarlo, completar la secuencia?, ¿qué relación tiene el ADN, con el ARN y con las proteínas?.

Actitudinales: ¿cuáles son los beneficios sociales que conlleva este descubrimiento y cuáles los peligros?.

Procedimentales: ¿cómo crece el conocimiento científico?, ¿por qué dichos conocimientos son válidos para un período histórico determinado?

Contribuye a la alfabetización científica, porque los términos que aparecen en los medios de comunicación (que tienen como referencia a conceptos) se incorporan en las explicaciones que se dan sobre determinados hechos. Habrá alfabetización cuando los alumnos integren a su lenguaje dichos términos con una conceptualización próxima a la de las ciencias y no los memorice simplemente.

La revisión histórica es uno de los principales aportes a la alfabetización porque contextualiza los conocimientos y da sentido a la aparición de conceptos y teorías. No olvidemos que es a partir de ellos que se interpretan los hechos.

Este enfoque contribuye al logro de las finalidades ya que permite una aproximación a los conocimientos científicos de la misma forma que lo hicieron los científicos. Permite desarrollar destrezas cognitivas relacionadas con el quehacer científico al revisar o recrear las investigaciones. Posibilita el desarrollo de un pensamiento crítico ya que posibilita que los alumnos recorran el camino de los investigadores, con sus aciertos y errores. Favorece la construcción de una imagen de ciencia no neutral, ni lineal.



## ACTIVIDAD N° 2

- a) Se trata de ADN, porque está presente la base T.
- b) La secuencia de la cadena complementaria sería: TTCGGACTG.
- c) La secuencia del ARN sería: AAGCCUGAC.
- d) Su composición de aminoácidos sería: lisina-prolina-ácido aspártico.



## ACTIVIDAD N° 3

- a) .
  - 1) Sí, por ejemplo en la membrana plasmática, en diversos orgánulos y enzimas.
  - 2) Sí, pero únicamente dentro de las mitocondrias.
  - 3) No, pues no pueden generar ARN.
  - 4) No, pues carecen de núcleo.

b) .

Consideramos que sería pertinente trasladar estos interrogantes al aula ya que suelen darse mecánicamente respuestas erróneas, sin razonar. A partir de esta situación se puede generar una discusión guiada por el docente para hacerles tomar conciencia sobre su razonamiento incorrecto.



## ACTIVIDAD N° 4

- a) Como un cambio en la secuencia de bases.
- b) Deleción: AT~~\_~~CGAGCA (eliminación de una base)  
Adición: ATT~~A~~CGAGCA (agregado de una base)

En los dos casos anteriores cambia el marco de lectura y se modifican desde la base, agregada o quitada, todos los codones que siguen.

Sustitución sin cambio: ATTCGAGCC~~\_~~ (la base que se cambia representa un codón sinónimo del de la secuencia dada).

Sustitución con cambio: TTTCGAGCA (cambia únicamente un aminoácido en la proteína final, al haber cambiado un codón por otro diferente).

## Bibliografía

### *Bibliografía didáctica*

Barberá O., El papel que desempeñan las teorías en Biología., *Enseñanza de las ciencias*, Vol. 10 (1), pp.32-36, Barcelona, 1992.

Boido, G., *Pensamiento científico. Programa de perfeccionamiento docente*. Bs. As., Prociencia CONICET. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación, 1996.

Chalmers, A. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*. Madrid, Siglo XXI, 1984.

Duschl, R. *Renovar la enseñanza de las ciencias, importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid, Narcea, 1997.

Duschl, R. & Hamilton, R. *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*. New York, New York Press, 1992.

Giordan A. y Vecchi G. *Los Orígenes del Saber; de las concepciones personales a los conceptos científicos*. Sevilla, Diada editorial, 1988.

Jiménez, M. P. & Sanmartí, N. *¿Qué ciencia enseñar?: objetivos y contenidos en la educación secundaria*. En: Del Carmen L. (coord.) *Cuadernos de formación de profesores*, Barcelona, ICE/horsori, Universidad de Barcelona, 1997.

Merino, G. *Enseñar Ciencias Naturales en el tercer ciclo de la EGB*. Aique, Bs. As., 1998.

Piaget, J., *Biología y Conocimiento*. Madrid, Siglo XXI, 1969.

### *Bibliografía disciplinar*

Campbell, N. A., Reece, J. B. & L. G. Mitchell, *Biology*. Illinois, Benjamin/Cummings 5<sup>th</sup> ed., 1999.

Curtis, H. & N. S. Barnes, *Biología*. México, Interamericana, 2000.

Purves, W. K., Oriand, G. H., Heller, H. C. & D. Sadava, *Life, The science of Biology*, 6<sup>th</sup> ed. Volume I: *The cell and heredity*. Massachusetts, Sinauer Ass. Inc. and W. H. Freeman Co., 2001.

Russell, P. J., *Fundamentals of Genetics*. California, 2<sup>nd</sup> ed. Addison Wesley Longman, 2000.

Solomon, E. P., Berg L. R., Martin, M. W., & Villee, C., *Biología de Villée*. México, 5<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill-Interamericana, 1998.

Starr, C. & Taggart, R., *Biology, The unity and diversity of Life*. California, Wadsworth Publ. Co., 9<sup>th</sup> ed., 2001.

Suzuki, D. T., Griffiths, A. J. F., Miller, J. H., & Lewontin, R. C., *Introducción al análisis genético*. Nueva York, 5ª ed. Interamericana-McGraw-Hill, 1998.

## Capítulo 2: La información genética a nivel celular

### Introducción

*Todas las células provienen de otras células.*

**R. Virchow<sup>1</sup>**

En el capítulo 1 hemos comenzado con el tratamiento de los temas de genética y evolución, optando por el análisis a escala ultramicroscópica y preguntándonos sobre la estructura y dinámica de la información genética en el nivel molecular. Así, el estudio del ADN se constituyó en nuestro punto de partida.

Dicha elección se basó en un criterio de secuenciación de contenidos, sustentada por la idea de que, para un mejor acercamiento de los conceptos disciplinares en un profesional docente, es necesario comprender lo micro para entender más adecuadamente lo macro. Ahora, acorde a esta secuencia, abordaremos el tema de la estructura y dinámica de dicha información genética **a nivel celular**, sus aspectos estructurales y funcionales específicos. Este conocimiento será necesario luego para profundizar el análisis de muchos fenómenos que ocurren en los organismos, por ejemplo relacionados con la división y el ciclo celular. Del mismo modo que en el capítulo anterior (1) los contenidos conceptuales de biología que trataremos en este capítulo están presentados en forma de interrogantes y de este modo se constituyen en disparadores para indagar progresivamente los conocimientos previos.

Desde lo conceptual de la biología pretendemos transferir una visión amplia de la vida y su continuidad, desde la doble perspectiva de lo estable y lo cambiante (en cada uno de los niveles de organización) y, desde la didáctica de la biología deseamos ofrecer una propuesta actualizada con el eje en su epistemología particular.

Por lo anterior, en el capítulo 1 dijimos que antes de analizar cómo se comunica y transforma el conocimiento científico en el proceso de enseñanza y aprendizaje, es necesario tener en claro qué es la ciencia, ya que de la respuesta a esta pregunta depende lo que enseñemos y cómo lo enseñemos.

Vimos que las visiones de ciencia correspondientes a diferentes momentos históricos se transfirieron a los modelos de enseñanza. Así, por ejemplo, la visión empirista impregnó fuertemente la enseñanza inductiva y la nueva filosofía de la ciencia, las tendencias constructivistas. Asimismo, recuperamos la historia como

---

<sup>1</sup> Físico alemán que propuso la teoría celular en 1858.

herramienta didáctica que permite analizar la evolución en la construcción del conocimiento científico.

La biología, como las otras ciencias, ha construido a lo largo de la historia su cuerpo de conocimientos desde diferentes metodologías. Se combinan en sus procedimientos descripciones y explicaciones, utiliza métodos comparativos y experimentales, produce teorías más que leyes y conjuga razonamientos hipotético-deductivos con análisis taxonómicos, sistémicos e históricos.

Retomaremos estos aspectos desde la didáctica de las ciencias, particularmente en este capítulo (2) a partir de los modelos de enseñanza, a los fines de poder transferir algunas propuestas para el aula.

También ampliaremos el tema de las ideas previas porque su explicitación y tratamiento a lo largo de una clase es uno de los elementos fundamentales de los modelos actuales para enseñar ciencias. Además retomaremos la idea de “hacer ciencias” a través de los trabajos prácticos de laboratorio.

## Aproximaciones didácticas

### Concepciones (modelos) de enseñanza y aprendizaje

La didáctica de las ciencias, como área de investigación, y sus contribuciones a las reflexiones y prescripciones hacia la práctica, tienen un desarrollo reciente, especialmente el de la didáctica de la biología.

Como dijimos anteriormente en su conceptualización influyeron los análisis de la nueva filosofía de las ciencias (NFC), las cuales abrieron el debate acerca de la naturaleza de las teorías científicas y pusieron en duda algunos presupuestos de las reformas curriculares de tipo inductivista.

Desde la psicología del aprendizaje, se acompañó este movimiento y se integraron los aportes de una psicología cognitiva, la cual analiza el mundo de los significados personales y su incidencia en el aprendizaje y la enseñanza. El cuestionamiento desde la psicología recayó en las decisiones didácticas originadas en la vieja escuela conductista. Desde la didáctica de las ciencias se retoman estos aportes y se los transfiere a los modelos de enseñanza.

Surge así, un consenso expresado en un concepto -que si bien originariamente representa una propuesta epistemológica sobre la teoría del conocimiento- genera concepciones o posturas sobre el aprender y enseñar ciencias: el constructivismo.

**El constructivismo o modelo constructivista** se centra en la idea de que el conocimiento científico es una construcción social, producto del esfuerzo humano, más que un conocimiento objetivo.

Los constructivistas sostienen que el proceso de aprendizaje resulta de la interacción entre los esquemas mentales del que aprende y las características del medio de aprendizaje, cobrando valor las ideas previas, las estrategias cognitivas, metacognitivas y los propósitos e intereses de los alumnos.

El currículo es concebido como un conjunto de experiencias más que una secuencia de contenidos a ser transmitidos, pasando de posturas cerradas a diseños abiertos, procesuales y posibles de reformulación. Importa "este sentido" de cada situación de enseñanza-aprendizaje para cada individuo y cómo construye versiones cada vez más cercanas a las concepciones de los científicos.

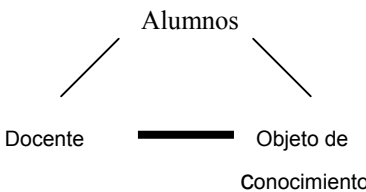
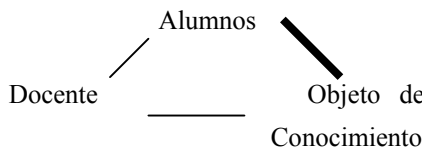
Así, uno de los acuerdos generalizados actualmente respecto de lo que se debería hacer para enseñar ciencia se refiere a respetar estas propuestas del modelo constructivista, aunque sin tomar a este como una nueva receta metodológica estándar. ¿Por qué remarcamos esta idea? Porque es común observar que cuando surge una propuesta novedosa que plantea un cambio en el sistema educativo -como fue en su momento el método científico- comienzan a proponerse desde la didáctica

prescripciones para su implementación. No es que nos opongamos a esta función de la didáctica sino que deseamos que usted tome la teoría que le presentamos como parámetro de reflexión y la adapte a su contexto. Más adelante, cuando comentemos los métodos de enseñanza asociados al constructivismo, le mostraremos secuencias de actividades; en este caso no quisiéramos que las tome como una técnica sino que a partir de ella proponga su propio diseño, adecuado a la realidad en la que trabaja, a sus alumnos y a su propia formación y concepción.

Si bien son diferentes las posibilidades para tomar decisiones respecto de cómo enseñar ciencias y diseñar nuestras clases, es conveniente en este momento, en que estamos analizando fundamentos, delimitar los dos posibles extremos relacionados con dos concepciones diferentes sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, para luego ampliar la segunda de ellas.

A continuación le presentamos en un cuadro comparativo las dos posturas o modelos de los que vinimos hablando. De este modo se pueden considerar como dos concepciones extremas sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje.

## Concepciones extremas sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje

| CONCEPCIÓN                    | TRANSMISIÓN-RECEPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CONSTRUCCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Relación que priorizan</b> | <p>La del docente con el objeto de conocimiento:</p>                                                                                                                                                                  | <p>La del alumno con el objeto de conocimiento:</p>                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Papel del docente</b>      | Transmite y controla la construcción del conocimiento. Le da una estructura y la impone a la clase.                                                                                                                                                                                                    | Propone situaciones que ayuden al alumno a resignificar el conocimiento, a partir de sus comprensiones.                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Papel del alumno</b>       | <p>Asimilar pasivamente la información. Principalmente atiende, responde, repite, copia y se entrena.</p> <p>Lo que aprende depende de lo que ya sabe y de la asimilación de lo nuevo.</p> <p>Aprende respuestas dadas.</p> <p>Aprende a partir de la respuesta exitosa, en general por ejercicio.</p> | <p>Construir activamente significados en el marco de estructuras cognitivas. Principalmente ensaya, confronta, argumenta y organiza su estudio.</p> <p>Reflexiona y toma conciencia de lo que sabe, de lo que aprende y cómo se lo aprende.</p> <p>Aprende a hacer preguntas.</p> <p>Aprende reinterpretando el fracaso, por desequilibrios y reequilibraciones posteriores.</p> |
| <b>Mente de alumno</b>        | Vacía o con ideas fácilmente reemplazables                                                                                                                                                                                                                                                             | Ideas fuertemente acomodadas basadas en su experiencia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Aprendizaje</b>            | <p>Rellenar un recipiente vacío. Hay un solo punto de partida.</p> <p>Se generaliza la propuesta</p>                                                                                                                                                                                                   | <p>Modificar, sustituir o ampliar ideas/conceptos existentes. Hay diferentes puntos de partida</p> <p>Se atiende a la diversidad</p>                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Condiciones para el</b>    | Material con el contenido jerarquizado de lo simple a lo                                                                                                                                                                                                                                               | Material organizado desde la estructura lógica y conceptual de                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

| CONCEPCIÓN                                                            | TRANSMISIÓN-RECEPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                      | CONSTRUCCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>aprendizaje</b>                                                    | <p>jerarquizado de lo simple a lo complejo. Con vocabulario específico de la disciplina.</p> <p>El alumno debe contar con el contenido anterior de la jerarquía.</p>                                                                                       | <p>estructura lógica y conceptual de la disciplina. Con vocabulario y terminología adaptados al alumno</p> <p>El alumno cuenta con conocimientos previos sobre el tema y predisposición favorable hacia la comprensión</p>                                                                   |
| <b>Estructuración del Conocimiento</b>                                | <p>El conocimiento es algo que existe “fuera” independiente de quien lo conoce. Por ello se le presenta al alumno desde situaciones externas (libro, profesor, clase...). Se heteroestructura un saber objetivo y acumulativo.</p>                         | <p>El conocimiento es algo que debe ser construido por cada individuo y en la interacción social. Por ello el docente organiza y guía situaciones relacionadas con las ideas previas e intereses de los alumnos.</p> <p>El conocimiento se interestructura y es relativo a la situación.</p> |
| <b>Evaluación</b>                                                     | <p>El profesor controla el proceso.</p> <p>La finalidad de la interacción es evaluativa.</p>                                                                                                                                                               | <p>Profesor y alumno controlan el proceso</p> <p>La finalidad de la interacción es el consenso.</p>                                                                                                                                                                                          |
| <b>Selección y organización de contenidos, recursos y actividades</b> | <p>Importa la selección del contenido, que su lógica sea la del texto si es posible. Se organiza jerárquicamente de lo simple a lo complejo</p> <p>Las actividades fundamentales son las exposiciones del profesor, lectura de textos y cuestionarios.</p> | <p>Importa la selección y la organización de actividades.</p> <p>Los contenidos tienen una lógica dentro de una red de significados.</p> <p>Las actividades corresponden en general a experiencias de laboratorio, resolución de problemas y discusiones argumentativas.</p>                 |
| <b>Comunicación</b>                                                   | <p>Transmisiva y normativa, desde el docente hacia los alumnos</p> <p>Las secuencias de diálogos son secuencias “triádicas” que comienzan con una pregunta del docente, siguen con la respuesta</p>                                                        | <p>Interactiva entre docente y alumnos y alumnos entre sí.</p> <p>Las secuencias de diálogos son variadas. Las puede iniciar tanto el docente como el alumno y en general las intervenciones del</p>                                                                                         |

| CONCEPCIÓN                              | TRANSMISIÓN-RECEPCIÓN                                                                                                                                       | CONSTRUCCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                         | del alumno y terminan con la evaluación del profesor.<br><br>El conocimiento nuevo lo define el docente y controla que el alumno lo sepa de la misma forma. | docente son para indagar las ideas de los alumnos y guiarlo para que las revise, corrija o complete.<br><br>El conocimiento nuevo es producto de esa interacción, guiada por el docente.                                                                                   |
| <b>Secuencia de instrucción general</b> | Presentación del nuevo contenido, aplicación de este en casos similares (ejercitación), control por parte del docente.                                      | Presentación de los objetivos a los alumnos, explicitación de las ideas previas, presentación de actividades que pongan en conflicto estas ideas previas y presente otras alternativas para contrastarlas, aplicación de lo aprendido a nuevas situaciones, meta-análisis. |
| <b>Finalidad</b>                        | Conocer las respuestas de la ciencia.                                                                                                                       | Hacer ciencia y hablar sobre ciencia.                                                                                                                                                                                                                                      |

Ampliando un poco las características del modelo **constructivista**, relacionadas con los procesos de aprendizaje y de enseñanza que moviliza, podemos decir que se parte de la idea de que el aprendizaje está fuertemente condicionado por el nivel de desarrollo operativo que poseen los alumnos y porque cada alumno tiene una organización cognitiva propia.

Desde dicho enfoque el aprendizaje se define como un **proceso constructivo en vez de reproductivo**, como en la escuela tradicional. Es decir que deja de lado la repetición automática, ya que ésta conduce a aprendizajes superficiales y transitorios. Se busca un aprendizaje con sentido y que tenga significado para los alumnos. Cuando se habla de memorizar se refiere a **una memoria comprensiva**.

Justamente en este mundo donde la información -y en este caso de genética y tecnología-, aumenta día a día, la meta del sistema educativo es que los alumnos desarrollen capacidades para interpretar, entender y relacionar dicha información, tomando como base la que ya se tiene, para luego organizarla e ir analizando los cambios en la comprensión. Es así que los principales procesos que propone el constructivismo son no solo organizar el conocimiento sino además dirigir la percepción, la atención, facilitar la comprensión y guiar el recuerdo.

Desde la enseñanza se le presenta a los alumnos situaciones para que interactúe el nuevo conocimiento con lo que ellos ya saben. Se intenta, en general,

enfrentar las teorías personales con las que propone la ciencia (como contenido alternativo), produciendo un conflicto cognitivo. Las situaciones se centran en actividades que buscan provocar un cambio conceptual que, como usted sabrá, tiene como condiciones esenciales que:

- los alumnos sientan insatisfacción con la concepción que poseen,
- vean el nuevo conocimiento como inteligible y plausible y
- que lo anterior de pie a una indagación fructífera para cambiar, corregir o completar dicha concepción.

Desde este tipo de instrucción los docentes debemos evaluar constantemente la coordinación de estos procesos y ayudar, como con un “andamiaje” a los alumnos y provocar en ellos una “metacognición” del camino recorrido.

He aquí, dos conceptos fundamentales de esta propuesta: **andamiaje y metacognición**.

El primero, el andamiaje, refiere a la acción de apoyo para aquellos aprendizajes que están más allá de las capacidades del aprendiz. A medida que se van organizando tareas cada vez con mayor nivel de complejidad, se va dando forma a la guía que recibirá el alumno al ejecutar dichas actividades. Este tema lo veremos ejemplificado cuando en capítulos posteriores tratemos los modelos de enseñanza por investigación.

Pero tal ayuda debe ir reduciéndose a medida que el alumno desarrolle competencias y autonomía en su tarea. En este marco cobra fundamental importancia el diálogo para establecer una comunicación didáctica adecuada. Es a través de este proceso que el docente debería ayudar a sus alumnos a pensar sobre el sentido de la tarea y la forma en que la fueron resolviendo.

La **metacognición** se refiere a la reflexión sobre nuestro propio pensamiento e incluye dos dimensiones: una, estar consciente de las habilidades, las estrategias y los recursos que se necesitan para saber qué hacer y la otra, saber cómo hacer la tarea y cuándo hacer qué cosa. Es decir que por ella podemos tener conocimiento de nuestro propio pensamiento y de las habilidades para usar ese conocimiento en la regulación de los propios procesos cognitivos.

Imaginemos por ejemplo provocar este proceso en diálogos con nuestros alumnos sobre los temas vistos en el primer capítulo (ADN) ¿para qué nos ayudaría?, para que el alumno comprenda que el recorrido histórico es una estrategia metodológica que sirve para ir incorporando los nuevos contenidos. Y para usted, como docente, saber que pueden hacer ese tipo de análisis. Asimismo le ayudaría, más adelante, para solicitarlo cuando desarrolle otros temas, por ejemplo cuando quiera que ellos reflexionen sobre cómo se fueron reformulando y enriqueciendo las explicaciones sobre la evolución.

También le podría servir para identificar los conocimientos iniciales al desarrollar un nuevo tema, si estos eran erróneos o no y ver cómo los modificó.

Otro elemento importante a tener en cuenta, si queremos dar clases bajo este modelo, es el hecho de que no es siempre el docente el que da el estímulo para que el alumno responda, sino que se requiere del mismo alumno la capacidad para iniciar la acción y dirigirla para conseguir el nuevo aprendizaje. De esta forma, desde el modelo constructivista se le da importancia a la **toma de conciencia** sobre el propio aprendizaje y a la autorregulación del mismo. Lo anterior obliga a los docentes, no solo a pensar en qué contenidos dará y con qué actividades, sino también en ver la forma de que sus alumnos vayan adquiriendo esta “responsabilidad sobre su propio aprendizaje”. De esta manera los aspectos afectivos quedan unidos a los cognitivos y pasan a ser el motor de sus acciones.

De allí que la interacción que deberían generar los docentes en sus aulas tendría como propósito y punto de mira que las actividades provoquen interacciones, que generen cooperación, colaboración y conflicto cognitivo. Todo lo anterior ayuda a poner en claro, elaborar, reorganizar la información y los significados. La condición es contar con un alumno activo, reflexivo, motivado y con capacidad de autoaprendizaje.

Trataremos a lo largo del módulo de ejemplificar esta idea y de demostrar que no podemos perder de vista que toda actividad debe permitir la construcción de un contenido conceptual, procedimental o actitudinal.

Para comenzar, quizás es conveniente ponernos a realizar un meta-análisis sobre nuestra propia forma de aprender y de provocar en los otros nuevos aprendizajes. Por ejemplo, nos podríamos preguntar: ¿cómo damos el tema de ADN?, ¿qué importancia le damos a la reproducción, a la división celular? ¿logramos interesar a nuestros alumnos? ¿resolvemos las dudas que surgen cuando ellos relacionan estos temas con lo que se está difundiendo en los medios de comunicación? ¿aprovechamos la oportunidad, para hacerles tomar conciencia de la importancia de comprender adecuadamente el contenidos para ser alfabetizados y críticos? entre otras.

Lo visto en el capítulo anterior sobre la construcción del conocimiento científico nos sirve ahora para comprender mejor el proceso de aprendizaje que se espera desde este modelo. Actualmente se sabe que el conocimiento del hombre no resulta de una recepción pasiva de los datos informativos, a través de sus sentidos, sino que se construye y reconstruye mediante un intercambio entre el individuo y su medio ambiente físico y social.

Pero producir dicha construcción es necesario contemplar otras dos esferas o ámbitos de explicación del conocimiento. Tener en cuenta que cada persona cuenta con un **conocimiento cotidiano** y que en la escuela se elabora un **conocimiento académico**.

## Otras aproximaciones didácticas

### Transposición didáctica

*Cuando hablamos de construir conocimientos en el aula de ciencias ¿de qué conocimiento hablamos?*

En el capítulo 1 hemos comenzado a caracterizar el conocimiento científico, en particular el de biología. Dijimos que en esta ciencia se aplican variedad de métodos y formas de razonamiento. La descripción de este tipo de conocimiento ha sido a lo largo de la historia, motivo de discusión en diferentes disciplinas como la filosofía, psicología, pedagogía, lingüística y las ciencias en general.

El conocimiento existe en el pensamiento de cada persona, pero es también una posesión del grupo social, se encuentra en lo que llamamos cultura.

Provocar la construcción del conocimiento desde una situación de enseñanza y aprendizaje, en el sistema formal de enseñanza, involucra una compleja trama de relaciones que hoy se explican desde las interacciones y negociaciones de significados que ocurren en el aula. Justamente uno de los problemas didácticos es identificar el tipo de interacción que se debería promover desde la enseñanza, para construir un determinado objeto de conocimiento (por ejemplo genética o evolución), y proponer -a modo de hipótesis-, un modelo particular que permita que la lógica de la interacción (diálogo docente-alumno y alumnos entre sí) no desvirtúe la lógica del contenido (secuencia que se diseña desde el currículo de la disciplina)

Partiendo de la posición de que la instrucción es un hecho institucionalizado e intencional, cuya meta principal es la construcción del conocimiento por parte del alumno, como profesores de biología nos podemos preguntar: ¿qué conocimiento intercambiamos en nuestras clases? ¿el expresado en los textos? ¿el de los científicos? ¿otro? ¿cuál? Trataremos de dar respuesta a estos interrogantes desde la siguiente explicación.

Es importante destacar que el hombre desde niño construye un **conocimiento cotidiano** al que va integrando los adquiridos en la escuela.

Por otro lado, en el marco del conocimiento social, se van logrando acuerdos válidos para determinado período de tiempo, parte de estos conocimientos son los **científicos**. Como sabemos, la producción de estas es cada vez más acelerada, resultando, en consecuencia más problemática su transmisión, en el sistema escolar. Como vimos en el capítulo anterior los conocimientos han dejado de ser considerados como el resultado de una actividad neutral a cargo de científicos, objetivos e infalibles, que determinan cuál es el conocimiento verdadero y universal. Ahora **son**

**interpretados como producto de una actividad social e históricamente condicionada.**

A los fines de su enseñanza es importante considerar que este conocimiento científico está constituido por dos dimensiones: la semántica y la sintáctica. La primera se refiere al conjunto de contenidos relacionados entre sí de manera determinada, incluyendo hechos, conceptos, principios y teorías. La segunda, comprende el conjunto de métodos y procedimientos que definen la lógica de investigación específica de un área. Se llama a los primeros conceptuales y a los segundos procedurales o procedimentales. Dentro de estos últimos se incluye hacer ciencia y hablar sobre ciencia.

Es todo un problema actualmente que los alumnos conviertan conocimientos científicos descriptivos y conceptuales (por ejemplo, explicaciones del docente sobre reproducción, desarrollo o fecundación) en acciones o procedimientos (por ejemplo, análisis hipotético deductivo a partir de resolución de problemas o análisis históricos). Es por ello que insistimos tanto en la necesidad de retomar la epistemología de las ciencias, explorar la naturaleza de la ciencia y la indagación científica en las clases de ciencias.

Hasta aquí, vemos que deberíamos tener en cuenta, en nuestras clases, el conocimiento cotidiano de los alumnos y proponer como meta el conocimiento científico, a modo de “vigilante epistemológico”.

Pero, desde la didáctica de las ciencias se sabe que a partir de que el conocimiento científico se produce, hasta que lo aprenden nuestros alumnos, son numerosas las comunidades que intervienen en su **transposición**. Es decir, en una situación de clase el conocimiento científico es re-definido para ser enseñado y para establecer la interacción comunicativa con el alumno. Surge así el **conocimiento académico**, como puente entre los anteriores, cuestionando al cotidiano y proyectándose hacia el científico, denominado también conocimiento escolar o cultura escolar.

Vemos entonces que existen tipos de conocimiento: el conocimiento **científico**, producto de la comunidad científica, el conocimiento **cotidiano** originado en las experiencias diarias y el **académico** que se planifica y ejecuta en la escuela.

Resumimos las características de los tres tipos de conocimiento en el siguiente cuadro:

| <b>Conocimiento<br/>COTIDIANO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Conocimiento<br/>CIENTÍFICO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Conocimiento<br/>ACADÉMICO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Es una estrategia para conocer y construir una visión de la realidad.</p> <p>Se desarrolla en las microculturas.</p> <p>Se integra con los adquiridos en el sistema formal.</p> <p>Constituye contextos de significado y referencia para los nuevos conocimientos.</p> <p>Influye en el aprendizaje y en la dinámica de interacción en el aula.</p> <p>Puede ser consistente o contradictorio con la ciencia convencional y hasta convertirse en obstáculo para el aprendizaje.</p> <p>El alumno (no es una tabla rasa) posee estructuras cognitivas, con las que explica y predice lo que ocurre a su alrededor.</p> <p>Por ello es la matriz cognitiva con que se interactúa en la clase.</p> <p>Parte de ellos forman lo que se llaman “ideas previas”.</p> | <p>Acuerdos válidos para determinado período de tiempo.</p> <p>Está en permanente cambio y desarrollo.</p> <p>Es producto de una actividad social e histórica (condicionado).</p> <p>Incluye diferentes estrategias metodológicas que forman parte de un proceder ordenado.</p> <p>Requiere procesos de creación intelectual, validación empírica y selección crítica.</p> <p>Permite al investigador explicar y prever.</p> <p>Tiene un proceso de construcción que debería recuperarse desde la enseñanza.</p> <p>Es la meta del proceso de construcción del conocimiento en el aula y actúa a modo de “vigilante epistemológico”.</p> | <p>Es producto de una “transposición”.</p> <p>Redefine el conocimiento científico para ser enseñado y para una interacción comunicativa con el alumno.</p> <p>Es un puente entre el cotidiano y el científico.</p> <p>Cuestiona el cotidiano y se proyecta hacia el científico.</p> <p>Involucra un conocimiento “a enseñar” y uno “enseñado”.</p> <p>Sufre la posibilidad de pérdida de contexto, personalidad e historia en el saber cuando se lo descontextualiza.</p> <p>Es un conocimiento que en clase circula, se negocia y crea significados; a partir del cual el alumno hace su reconstrucción.</p> <p>Debería recrear la epistemología de la ciencia en una “nueva epistemología experimental para la clase”.</p> |

Ya no se discute desde las teorías del aprendizaje que el alumno llega al aula como una tabla rasa, sino que trae sus conocimientos cotidianos y el adquirido en los niveles

previos del sistema. El mismo se manifiesta principalmente en las ideas previas que explicitan solos o por nuestra solicitud.

Por otro lado, los docentes hemos diseñado un conocimiento académico y lo tratamos de presentar por diferentes estrategias. A partir de ellas interactúan los cotidianos y académicos.

La propuesta de los modelos actuales de enseñanza de las ciencias, como el constructivismo, consiste en hacer evolucionar esta interacción y la de los modelos explicativos de los alumnos hacia los modelos que propone el conocimiento científico.

El conocimiento que se elabora en la escuela (el académico) trasciende las explicaciones cotidianas y tiene como finalidad aproximarse al científico.

Si revisamos un poco nuestras clases de biología, veremos que aparecen un conjunto de conocimientos cotidianos: habrá alumnos que expresen que *“si los cabellos se caen es porque están muertos y no tienen células vivas, lo mismo que las uñas que nos cortamos, por lo tanto en ellos no hay ADN”*. Recuperar este conocimiento cotidiano de los alumnos ayudará a poner en evidencia la incompletitud de sus conocimientos sobre teoría celular y la base errónea sobre la que pueden construir los contenidos.

Un caso particular que encontramos estos últimos años -y se piensa que se está convirtiendo en un conocimiento cotidiano-, es la asociación entre cromosomas y ADN, tomado principalmente de fuentes como los medios de comunicación y de algunas divulgaciones científicas. Quizás esto le llame la atención, pero es de observar que en este momento, los alumnos lo han incorporado a su lenguaje y a sus explicaciones de manera cotidiana. Desde esta perspectiva están presentes en las comunicaciones entre pares, los usan para justificar o explicar transmisión de enfermedades o producción de alimentos, aunque sea a nivel de términos.

Lamentablemente es tan reciente la incorporación de los temas de genética y evolución en las reformas educativas, que no contamos con investigaciones didácticas que hayan registrado cuáles son los conocimientos cotidianos y las ideas previas más frecuentes y que obstaculizan la construcción de estos saberes.

En las interacciones que surgen en el aula al resolver las actividades, aparecen estos conocimientos cotidianos y los saberes previos que, para el alumno serán el anclaje del nuevo contenido. Como vimos, desde la perspectiva constructivista debemos hacerlos explícitos al trabajar **desde ellos, con ellos y a veces en contra de ellos**. Cuando tratemos ideas previas ampliaremos este concepto. Esto lo haremos al final en la transferencia didáctica. Allí también retomaremos la idea de “hacer ciencias” a través de los trabajos prácticos de laboratorio.

A medida que desarrollemos los aportes didácticos iremos ampliando características y posibilidades del modelo constructivista ya que es el que se enmarca en la conceptualización de didáctica que hicimos en un comienzo.

## Contenidos de biología

### Generalidades sobre la división celular

*¿Cómo se multiplica una célula y origina dos células hijas iguales a sí misma?*

En coherencia con los conceptos vertidos acerca de la importancia de partir de los conocimientos cotidianos hacia los científicos (Ver **2.1 1.- Aproximaciones didácticas – La transposición**), es conveniente iniciar este recorrido con una introducción global que incentive y anticipe los ejes temáticos fundamentales.

Como usted ya sabe, todos los seres vivos - menos los virus -, están formados por células y toda célula proviene de otra pre-existente. Una célula puede sobrevivir porque contiene toda la información que le permite realizar sus procesos vitales, crecer y reproducirse. Hemos visto que esta información genética está contenida en el ADN y cómo esta información se traduce en proteínas. Como parte de su vida, las células se multiplican, aunque algunas nunca lo hacen, como los glóbulos rojos. Así es que todas las células de un mismo organismo son genéticamente iguales, desde una célula nerviosa a un glóbulo rojo, a un hepatocito, todas tienen los mismos genes. Sus diferencias se deben a la regulación de los genes durante la vida de la célula.

Cabe preguntarnos: ¿cómo una célula transmite esta información a sus descendientes?

Así como la replicación del ADN es fundamental para la vida, la reproducción celular es absolutamente esencial para su continuidad. La reproducción es probablemente la actividad más notable y más característica de los sistemas vivos. A nivel celular implica que una célula produzca dos y transmita a las células hijas dos elementos esenciales para la vida:

- 1) la información genética necesaria que dirige los procesos vitales,
- 2) los materiales citoplasmáticos imprescindibles que intervienen en los procesos vitales (o los materiales que la célula hija necesita para sobrevivir y utilizar su información hereditaria).

Esta producción de nuevas células solemos llamarla también **división celular**.

El primer punto implica la replicación del material genético y es anterior a la multiplicación de la célula (este proceso lo hemos desarrollado en el capítulo 1), también implica la distribución eficiente a las células hijas de dicho material, sin errores, sin pérdidas. En este caso, las células resultantes son exactamente iguales a las células progenitoras.

Como usted recordará, existe además una división celular más compleja, característica de organismos con reproducción sexual, a partir de la cual resultan las gametas con la mitad del número cromosómico. Esto permite restablecer el número cromosómico luego de la fecundación. ¿Cómo se reduce el número cromosómico y cómo al mismo tiempo se produce variabilidad? De estas y otras preguntas relacionadas al ciclo celular, nos ocuparemos en este capítulo más adelante.

Antes de comenzar a desarrollar la temática, nos parece apropiado que usted revise los conceptos relacionados con teoría celular, en particular las diferencias entre célula procariota y eucariota. Estos constituyen las conceptualizaciones previas para trabajar los contenidos a continuación.



### *Un aporte para el aula*

**Antes de que usted presente el tema de división celular, es conveniente retomar con sus alumnos las características del modelo celular que trabajaron en el 3er ciclo de EGB.**

## *La reproducción en la célula procariota*

En estas células la mayor parte del material genético se encuentra en una sola molécula circular de ADN. Esta molécula forma el único cromosoma de la célula, que como se recordará carece de membrana nuclear. Como ocurre en todos los tipos celulares, antes de la división, el material hereditario se duplica y se une a un punto del interior de la membrana celular.

Cuando la célula crece y se alarga, los cromosomas quedan separados. Luego la membrana celular se invagina, formándose a continuación la nueva pared celular. Como resultado de este proceso, dos células procariotas hijas se han formado a partir de una célula madre con igual información genética.



### *Un dato*

**¿Sabía que el modelo de mayor antigüedad es el de la célula procariota y que, según registros fósiles, tiene 3500 millones de años, a diferencia del de las células eucariotas que tiene registros de 2000 millones de años**

Este tipo de reproducción recibe el nombre de **fisión binaria** y es típica de las bacterias.

### *La reproducción en la célula eucariota*

Esta es una célula más compleja, como lo son los seres que las poseen, ya que entre otras particularidades tienen más cantidad de genes (o ADN).

Una de las ventajas de las células eucariotas es que presentan el ADN más protegido de agentes físicos y químicos. Este ADN se encuentra en el interior de un núcleo con doble membrana, no está disuelto como sucede con los procariotas dentro del citoplasma - sino que se halla asociado con proteínas, principalmente básicas, llamadas histonas.

Estas proteínas tienen función estructural y participan en la organización de la cromatina y de los cromosomas. Las otras proteínas no histónicas cumplen funciones enzimáticas relacionadas con la duplicación del ADN y la síntesis de los ARN.

Esta complejidad implica que de alguna manera el material genético se compacte antes de repartirse entre las células hijas. En el curso de la evolución, las células eucariotas han desarrollado estrategias de empaquetamiento del ADN formando los cromosomas.

La secuencia regular de procesos de crecimiento y división celular que ocurren durante la vida de la célula se denomina ciclo celular. El ciclo de una célula es análogo al de un ser vivo, "nace" mediante la división de una célula progenitora, "crece" y se "reproduce".

Pero antes de entrar a describir el ciclo celular, para una mejor comprensión especialmente de los mecanismos de la división celular, es preciso describir las características del cromosoma eucariótico.

Dicha descripción requiere de la diferenciación entre dos estructuras diferentes, que se denominan en forma parecida y que habitualmente genera la siguiente pregunta:

¿Cromatina o cromosoma?, de cuya respuesta se ocupará el siguiente desarrollo.

## La estructura de los cromosomas

### *¿Cromatina o cromosoma?*

En eucariotas, el ADN está asociado a proteínas. Este complejo de ADN + proteínas es la **cromatina**.

Como recordará este nombre hace referencia a sus propiedades tintóreas (cromatina viene del griego que significa color) porque se tiñe intensamente cuando se emplean colorantes básicos en la tinción celular. La cantidad de ADN es más o menos similar a la cantidad de proteínas: el ADN tiene la información genética y las proteínas regulan la estructura y las actividades del ADN. Esta asociación resulta ventajosa para las células eucariotas ya que tienen comparativamente grandes cantidades de ADN y la misma replicación sería un proceso larguísimo si no se lo regulara de algún modo.

Retomemos la estructura de la cromatina. Las proteínas que la constituyen son las histonas. Estas proteínas básicas (están cargadas positivamente) son atraídas por el ADN cargado negativamente (ácidos) y **son las responsables del plegado y empaquetamiento del ADN**. ¿Cómo es esto? La cromatina cambia drásticamente de estado: puede estar en forma de delgados hilos casi invisibles en el microscopio, o bien enrollarse y compactarse de tal modo que se pueden observar nítidamente como cuerpos bien diferenciados al microscopio.

En la fibra de cromatina, las histonas se encuentran asociadas con la doble cadena de ADN formando estructuras más o menos globulares denominada **nucleosomas**. Estos nucleosomas están formados por histonas sobre las cuales se enrolla la doble hélice de ADN dando casi dos vueltas. Por ello, si estiramos una fibra de cromatina observaremos que de tanto en tanto se presentan los nucleosomas, que

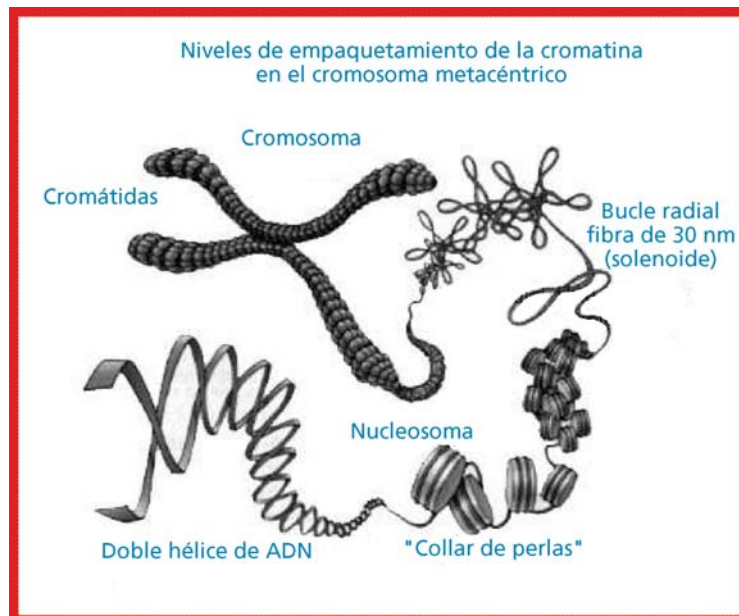


le dan a la cromatina, un aspecto de un collar de cuentas.

En la célula que no está en división cada fibra de cromatina se duplica formando dos nuevos filamentos helicoidales que permanecerán unidos por una zona determinada. Antes de entrar a la etapa de división celular, estos filamentos de cromatina se condensan, se enrollan

formando como bucles que también se repliegan hasta culminar con la formación del **cromosoma** completamente condensado.

### *En síntesis*



Cromatina y cromosomas están formados por las mismas sustancias (ADN más proteínas) pero se encuentran en diferente etapa de condensación. También podríamos decir que depende del estado fisiológico en que se encuentra la célula, ya sea en forma de filamentos delgados poco visibles al microscopio óptico **cromatina** o bien como gruesos bastones compactos de forma y tamaño característicos, visibles al microscopio óptico durante la división celular **cromosomas**.



### *Un aporte para el aula*

Sin lugar a dudas los conceptos de la síntesis anterior son probablemente uno de los obstáculos más frecuentes que se nos presentan en el momento de enseñar temas relacionados con biología celular y genética. Tengamos en claro de qué se trata, porque la confusión en los alumnos suele ser frecuente. Seguramente si evocamos nuestras clases, recordaremos una situación de diálogo entre docente y alumno similar a la siguiente:

- Alumno: -¿Cromosoma y ADN es lo mismo?
- Docente: -Sí.

- **Alumno:** -Entonces, ¿cromatina, qué es?
- **Docente:** -Y... es también el ADN.
- **Alumno:** -Bueno, si cromosoma es ADN y cromatina es ADN, entonces, son lo mismo. Por lo tanto son sinónimos.

El mensaje verbal presente en las aulas funciona como un mediador entre las personas que intervienen en la comunicación. Dichos mensajes, como las preguntas y respuestas anteriores, se elaboran y emiten a través de códigos (palabras que expresan conceptos) que representan determinados significados. Para los términos específicos de una ciencia (como en este caso cromosoma y cromatina) los significados se encuentran en el cuerpo de conocimiento de dicha ciencia, en este caso la biología.

No constituye un capricho del docente discutir lo que se entiende por cada término que se usa, si lo que se busca es expresar el nivel de conceptualización del mismo.

Incorporar en la lógica de la interacción de la clase dicho lenguaje, constituye un aprendizaje necesario.

En el caso anterior, el parecido lingüístico entre cromosoma y cromatina llevó a los alumnos a realizar una pregunta. El docente puede aprovechar esta situación para desarrollar conceptos relacionados con las diferencias estructurales y funcionales entre ambas.

El aprendizaje de un término específico tiene sentido en la medida en que sirve para hacer referencia a un concepto. Si no tiene anclaje en alguna estructura conceptual se lo memorizará y usará como “fichas en un juego de armado de frases” y esto no es lo que buscamos con el aprendizaje de la biología.

No es fácil para un docente responder los aspectos del diálogo anterior si no tiene clarificados algunos conceptos. Para este caso debemos manejar los referidos a estructura y dinámica del ADN que desarrollamos en el capítulo 1. Tenga en cuenta que las siguientes ideas básicas (a modo de prerequisitos o conceptos previos ya elaborados), son necesarias para comprender el desarrollo de este tema:

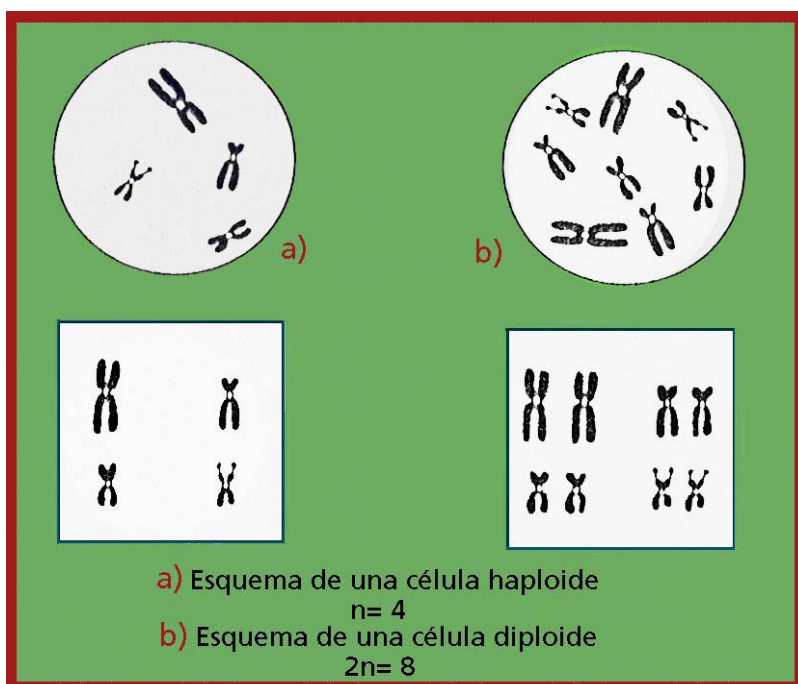
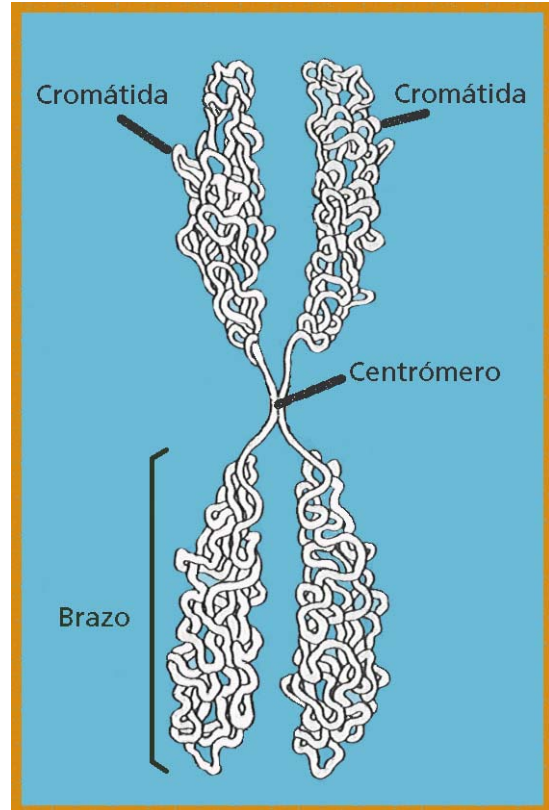
- la información genética está en el ADN,
- el ADN se encuentra en el núcleo,
- el ADN es una cadena doble en forma de hélice,
- el ADN tiene la particularidad de auto duplicarse manteniendo la información,
- el ADN se transmite de célula a célula.

### *Estructura del cromosoma eucariótico*

Durante la división celular el cromosoma está formado por dos filamentos idénticos (que se duplicó en la interfase). Cada filamento es una **cromátida** que permanece unida en una región especializada llamada **centrómero**. Cada cromátida es una molécula única de ADN idéntica al ADN del cromosoma original antes de su duplicación. Las dos zonas de una cromátida separadas por el centrómero reciben el nombre de brazo.

Los cromosomas pueden clasificarse de acuerdo a distintos criterios: por ejemplo, tamaño y forma. El tamaño se refiere a la longitud total de cada cromosoma y la forma, a la relación comparativa entre las longitudes de ambos brazos. Se definen, a partir de ella, cuatro tipos de cromosomas, a saber:

- metacéntrico: cuando los dos brazos son iguales o muy semejantes en dimensiones;
- submetacéntrico: cuando un brazo es un poco más chico que el otro;
- subtelocéntrico: se mantiene la relación anterior, pero un brazo es extremadamente más chico que el otro y
- telocéntrico: cuando un brazo es tan pequeño que casi no se lo visualiza.



a) Esquema de una célula haploide  
 $n=4$   
b) Esquema de una célula diploide  
 $2n=8$

Los citogenetistas (como se llama a los genetistas que estudian los cromosomas) tienen medidas precisas para identificarlos, basadas en la relación entre un brazo y el otro, como sigue:

- metacéntrico: la división entre la longitud de un brazo sobre la del otro debe ir de 1 a 1,7;
- submetacéntrico: la división anterior debe ser de 1,71 a 3,0;
- subtelocéntrico: la división anterior debe ser de 3,01 a 7,0 y
- telocéntrico: la división anterior debe ser mayor de 7,0, pero en el aula se puede definirlos de una manera más simple, como arriba.

### *Las características constantes del cromosoma se mantienen*

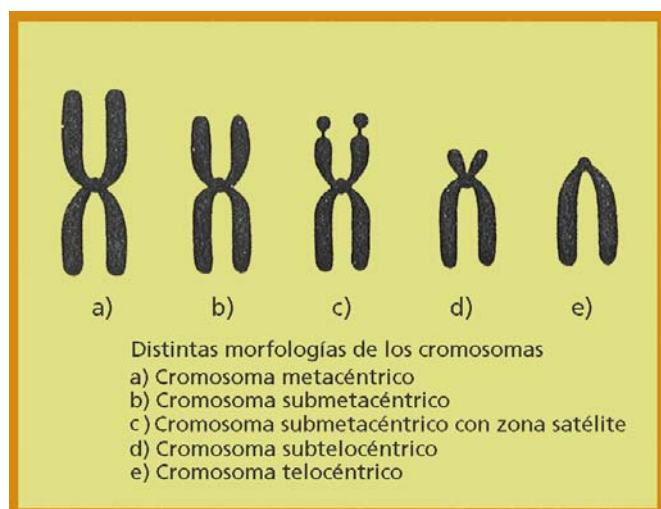
Cada especie biológica tiene un número característico de cromosomas en todas sus células, el que se mantiene constante. El **número** de moléculas de DNA o cromosomas es característico de cada especie.

En un organismo que se reproduce sexualmente distinguimos dos tipos de células: **células somáticas** (o del cuerpo) y **células sexuales** (o gametas). Las células somáticas tienen en su núcleo los cromosomas de a pares, es decir son **diploides**. Cada miembro del par de cromosomas es conocido como **homólogo o cromosoma homólogo**. Estos cromosomas homólogos provienen uno del padre y lleva su versión de los genes, y el otro, de la madre, es portador de los genes de origen materno.

Las otras células, **las sexuales o gametas** sólo contienen un ejemplar de cada pareja de homólogos como resultado de la **meiosis**, y se dicen **haploides**. De la fusión de las dos gametas haploides se formará un cigoto **diploide**, con el número de cromosomas característico de la especie.

El número total de cromosomas de una **célula diploide** se designa **2n**, el correspondiente a humanos es  $2n = 46$ . El número **haploide de las gametas se designa n**, y en humanos es  $n = 23$  cromosomas.

Además, la **forma** de cada cromosoma **se mantiene también constante** de una generación a otra y es la misma para todos los individuos normales de la misma especie. Las proporciones relativas de los brazos entre sí y el **tamaño relativo** de los cromosomas son también **constantes**.



Hemos incorporado en pocas líneas nuevos términos: haploide, diploide, cromosomas homólogos, cromosomas sexuales. Recuperemos nuevamente estos conceptos:

- Cuando hablamos de diploide o haploide, nos referimos al número cromosómico.
- Diploide se refiere a la presencia de cromosomas de a pares o dobles, los cromosomas homólogos. Es el número cromosómico típico de las células somáticas.
- Cromosomas homólogos se llaman así porque son idénticos en cuanto a su forma, su tamaño y sus genes. Llevan el mismo tipo de información genética referida a los mismos caracteres, la que puede ser idéntica o no. Uno de los miembros del par proviene de un progenitor y el restante del otro progenitor.
- Haploide: solamente hay un miembro del par de cromosomas. Es el número cromosómico típico de las células sexuales o gametas.

En la siguiente tabla se incluye el número cromosómico en algunas especies:

| Nombre vulgar    | Número cromosómico (2n) |
|------------------|-------------------------|
| <i>Mosquito</i>  | 6                       |
| <i>Gato</i>      | 38                      |
| <i>Ratón</i>     | 40                      |
| <i>Cerdo</i>     | 40                      |
| <i>Chimpancé</i> | 48                      |
| <i>Tabaco</i>    | 48                      |
| <i>Tomate</i>    | 24                      |
| <i>Maíz</i>      | 20                      |
| <i>Papa</i>      | 48                      |

**ACTIVIDAD N° 6**

Hemos estado analizando las características que se mantienen constantes en los cromosomas, por ejemplo, el número. En la tabla anterior, puede observar que especies diferentes poseen el mismo número de cromosomas.

En este contexto,

¿podemos decir que solo el número de cromosomas produce las grandes diferencias que existen entre los organismos? fundamente su respuesta;

¿cómo explicaría que el chimpancé y el tabaco tengan el mismo número de cromosomas pero sean diferentes?

Si estuviera dando una clase donde introduce dichos interrogantes cómo respondería las siguientes preguntas:

¿Qué conceptos previos deberían poseer sus alumnos para dar una respuesta correcta?

¿Qué contenidos nuevos o revisiones podría plantear a partir de ellas?

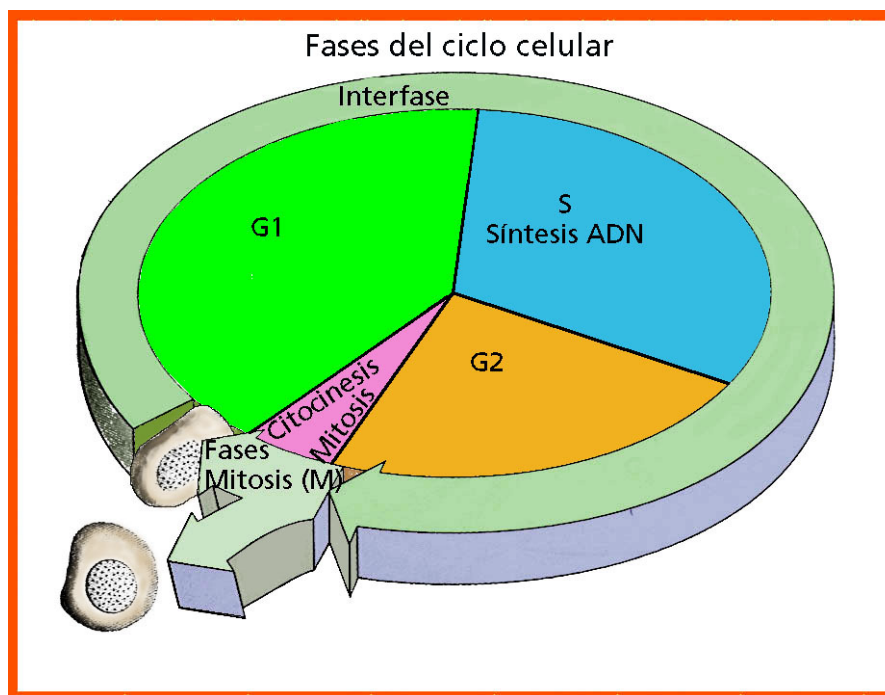
¿Qué otras preguntas cree que puedan surgir respecto del tema?

## El ciclo celular y la mitosis

### *El ciclo celular*

El **ciclo celular** comprende un conjunto de procesos a través de los cuales se replica exactamente el ADN y se segregan los cromosomas replicados en dos células distintas. La gran mayoría de las células también doblan su masa y duplican todos sus orgánulos citoplasmáticos en cada ciclo celular. De este modo durante el ciclo celular un conjunto complejo de procesos citoplasmáticos y nucleares tienen que coordinarse unos con otros. El ciclo celular comprende dos grandes etapas: interfase y división celular.

Observe detenidamente la siguiente figura sobre ciclo celular en eucariota.



### *La interfase*

El nombre de **interfase** surgió como consecuencia de las primeras observaciones al microscopio óptico. Los biólogos observaban que entre dos divisiones (fases) había un periodo intermedio que denominaron interfase. Además comparando con la gran actividad que se observaba durante la división celular, (por ejemplo el movimiento de los cromosomas, la disolución de la membrana nuclear) hacía suponer que en esta interfase la célula “descansaba”.

Hoy con los aportes de la microscopía electrónica y las técnicas bioquímicas sabemos que no es así. Todo lo contrario, la interfase es el período de su máxima actividad metabólica y generalmente el de mayor duración durante el ciclo celular.

Comprende varias fases:

1. G0: reposo o quiescencia.
2. G1: cuando al recibir una señal proliferativa se inicia la maquinaria mitótica; un punto crucial del ciclo es el que ocurre en el punto R ( punto de restricción) de esta fase G1, momento en el cual la célula avanza o no en prosecución del ciclo. Hacia el final de esta fase aumentan las enzimas requeridas para la síntesis de DNA.
3. S: una vez superado el punto de control -punto de restricción- la célula en fase S, donde se duplica el ADN, para llegar al G2.
4. G2, en donde se establece el segundo y último punto de control que, si supera, se entra en fase de mitosis. También se registra un aumento en síntesis de proteínas.

No sólo el ADN se duplica; recordemos que cada mitocondria y cloroplasto tiene su propio ADN que está organizado en forma muy parecida al ADN bacteriano. Estos orgánulos, que solo se forman a partir de otras mitocondrias y cloroplastos preexistentes, también se duplican durante la interfase (en la etapa G). Normalmente, proceden de las gametas femeninas, las que contribuyen mayoritariamente a la formación del citoplasma del cigoto.

### *La división celular*

El proceso correspondiente a la división celular en eucariotas consta de dos etapas: la **mitosis** (división nuclear) y la **citocinesis** (división citoplasmática). Por mitosis una célula se divide y forma dos células hijas idénticas, cada una de las cuales contiene un juego de cromosomas idéntico al de la célula parental.

Las plantas y los animales están formados por miles de millones de células individuales organizadas en tejidos y órganos que cumplen funciones específicas. Todas sus células han surgido a partir de una única célula inicial —el cigoto— por un proceso de división, la mitosis.

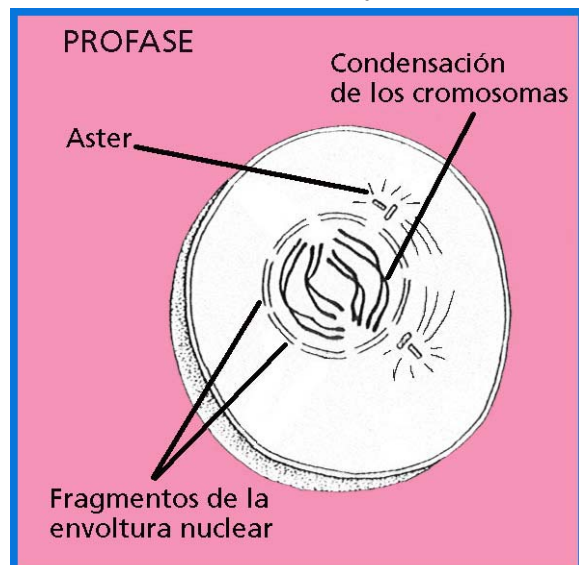
La mitosis es el proceso de división celular por el cual se **conserva la información genética** contenida en **sus cromosomas** que pasa de esta manera a las sucesivas células que la mitosis origina. En otras palabras, las células hijas son idénticas a las células madres.

La mitosis es igualmente un verdadero proceso **de multiplicación celular** que participa en el desarrollo, el crecimiento y la regeneración del organismo en su conjunto.

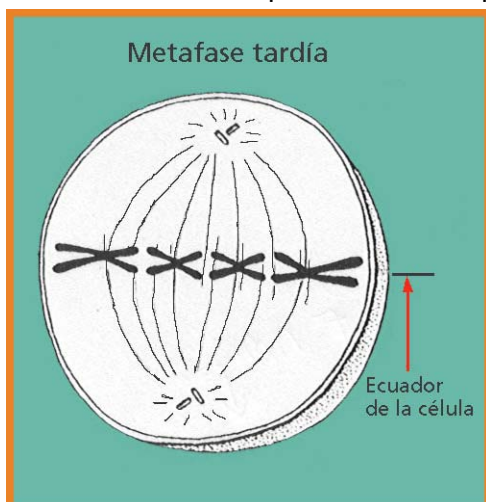
El proceso tiene lugar por medio de una serie de operaciones sucesivas que se desarrollan de una manera continua, y que para facilitar su estudio han sido separadas en varias etapas. Estas etapas no son realmente acontecimientos independientes, cada fase da lugar a la siguiente.

A continuación le brindaremos una síntesis de lo que ocurre en cada fase, especialmente nos referiremos al movimiento de los cromosomas.

- 1) **Profase:** En esta fase se condensa la cromatina y comienzan a hacerse visibles los cromosomas. Cada cromosoma, ya se encuentra duplicado y está constituido por dos cromátidas, que se mantienen unidas por un estrangulamiento que es el **centrómero**. Cada cromátida corresponde a una larga cadena de ADN. Al mismo tiempo disminuye el tamaño de los nucléolos hasta desaparecer y los pares de centríolos empiezan a alejarse el uno del otro, y a medida que estos se separan aparecen entre ambos las **fibras del huso acromático**, consistentes en microtúbulos y otras proteínas. Se distinguen al menos dos grupos de microtúbulos: **fibras polares o fibras continuas** que van desde cada polo del huso hasta una región central a mitad de camino entre los polos, y **las fibras del cinetocoro**, que son más cortas y están unidas a los cinetocoros del centrómero de cada par de cromátidas. Estos dos grupos de fibras participan en la separación de las cromátidas hermanas durante la mitosis. En aquellas células que contienen centríolos se distinguen además un



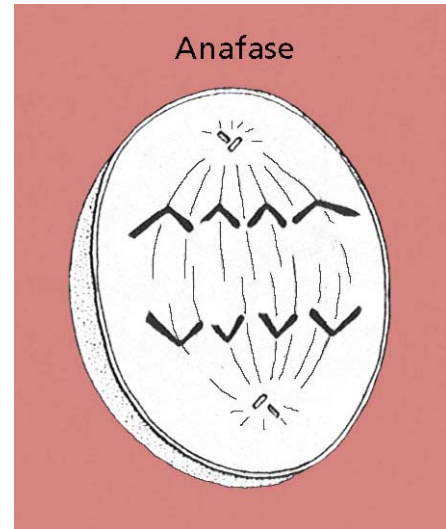
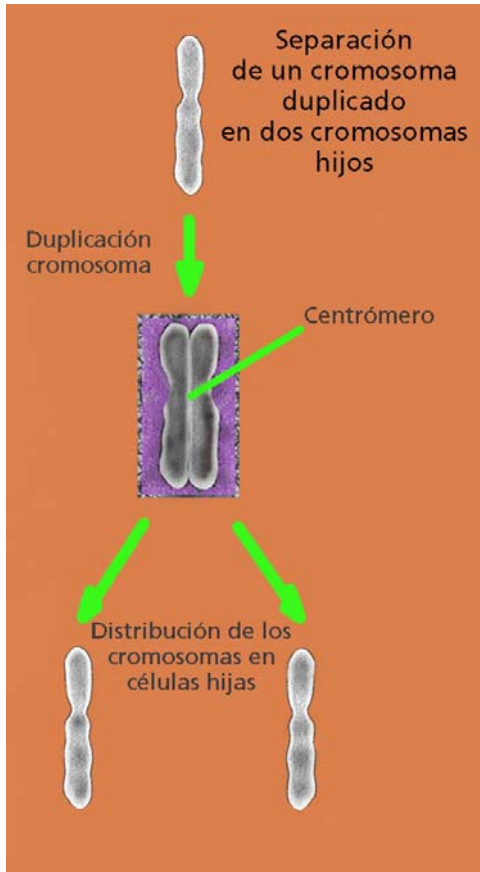
tercer tipo de fibras, las **fibras astrales o áster**, más cortas, que se extienden desde los centríolos hacia fuera.



- 2) **Metafase:** la cromatina alcanza el máximo grado de condensación. Se forma el huso dónde se insertan los cromosomas que se van desplazando hasta situarse en el plano ecuatorial de la célula.

- 3) **Anafase:** en esta fase el centrómero se divide longitudinalmente y cada cromosoma se separa en sus dos cromátidas. Los centrómeros migran a lo largo de las fibras del huso en direcciones opuestas, arrastrando cada uno en su desplazamiento a una cromátida ( que es lo

mismo que decir cromosoma ya que estaba duplicado) hacia los polos opuestos de la célula.



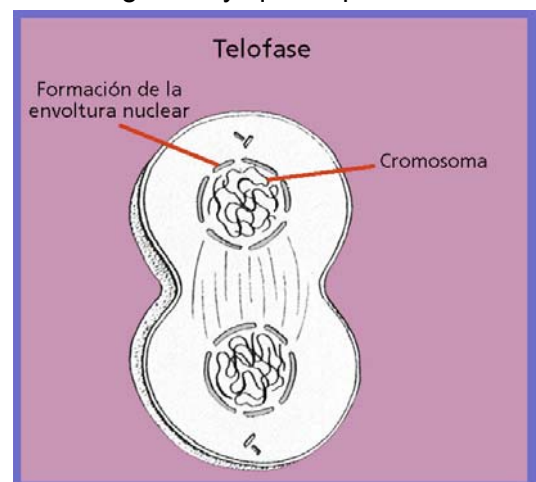
La anafase constituye la fase crucial de la mitosis, porque en ella se debe realizar la distribución equitativa de las dos copias de la información genética original.

- 4) **Telofase:** los dos grupos de cromosomas, uno en cada polo celular, comienzan a descondensarse, se reconstruye la membrana nuclear, alrededor de cada conjunto cromosómico, lo cual definirá los nuevos núcleos hijos.

Finaliza así la división del núcleo también denominada cariocinesis, a la que sigue la división del resto de la célula o **citocinesis**.

La citocinesis se produce en las células de los animales por un proceso de estrangulamiento. Aparece un surco, que rodea la superficie de la célula en el plano ecuatorial que se hace cada vez más profundo hasta estrangularla y que separa la célula en dos mitades. Se forman así dos células hijas, cada una con un núcleo.

En las células de los vegetales, la citocinesis es un proceso ligeramente diferente del que ocurre en las células de los animales. En células vegetales la citocinesis se produce por tabicamiento. Se forma una placa celular en la zona ecuatorial de la célula. Esta placa se origina a partir de vesículas (secretadas por el retículo endoplasmático y el aparato de Golgi) que contienen las moléculas con las que se produce la formación de la nueva pared



celular. Así cada futura célula hija forma su pared celular y por dentro de esta la membrana plasmática.

*¿Cuál es el resultado de la mitosis y qué función cumple el organismo?*

La función principal de la mitosis es mantener constante el número cromosómico en las células hijas. La distribución regular de los cromosomas por medido de la división mitótica mantienen la constancia del número y de las demás características cromosómicas en todas las células del individuo. A través de la mitosis se asegura que cada célula hija reciba la misma información genética que poseía la célula progenitora.

A nivel de los organismos podemos decir que:

- en los organismos multicelulares está relacionada con el aumento de su tamaño por el aumento de número de células, es decir con el crecimiento y con la regeneración de los tejidos dañados, como por ejemplo, la cicatrización de una herida y también con la reposición de tejidos, por ejemplo de los glóbulos rojos, ya que estas células viven sólo cinco días; las células madre de la médula ósea se dividen cada segundo y de este modo reponen los glóbulos rojos muertos;
- en los organismos unicelulares, la mitosis es un proceso clave para su reproducción, por el cual cada célula hija recibe una réplica exacta del organismo progenitor.

Pero este tema relacionado con la reproducción lo veremos en el próximo capítulo.

## La regulación del ciclo celular

*¿Todas las células pasan por ciclos celulares completos y se dividen al mismo ritmo?*

Todas las células que se dividen pasan por las mismas etapas mencionadas en la descripción del ciclo celular (ver 2.2.3 “El ciclo celular y la mitosis”). Sin embargo no todas las células completan su ciclo. Es el caso de células muy especializadas como las neuronas, las fibras musculares y los glóbulos rojos, estos tipos de células, una vez que llegan a su estado maduro, se detienen en el período de interfase sin experimentar división y permaneciendo en la fase G0. Esta característica le da sentido a la frase: “daños en el cerebro, por un accidente cerebro vascular o en el corazón por un infarto, son muy peligrosos porque son irreversibles”.

La mayoría de las células de los tejidos rara vez se dividen, es decir se encuentran en la fase G0 y eventualmente frente a un estímulo externo pueden retomar la fase G1 y dividirse normalmente. Este es el caso de las células hepáticas, que sólo se dividen si el tejido se deteriora o extirpa.

También hay tejidos cuyas células se renuevan constantemente a partir de células madres, por ejemplo en nuestro cuerpo las células de la epidermis y las células del epitelio del intestino que se dividen cada 3 días.

Por otra parte la división del núcleo (cariocinesis) y la citoplasmática (citocinesis) son acontecimientos independientes, ya que hay casos en que las células sufren mitosis sin citocinesis. Esto es típico en las células de distintas especies de hongos y en las células musculares humanas.

Una situación distinta se presenta durante las primeras fases del desarrollo de los organismos cuando la división celular ocurre con mucha rapidez, por ejemplo en humanos se produce una división celular aproximadamente cada 30 minutos y luego se va haciendo más lenta. Esto no es lo habitual. En general durante la mayor parte de la vida de una célula, esta se encuentra en interfase y, los períodos de división son suficientes para producir las células necesarias para el crecimiento o la reparación del organismo en su conjunto.

Si algún tipo de célula se divide a un ritmo mayor que el normal, indudablemente empezará a ocupar más espacios y a invadir otros tejidos. Este es el proceso que tiene lugar en el cáncer.

### *Regulación del ciclo celular ¿Cómo se relaciona con el cáncer?*

En el ciclo celular, las fases G1 y G2 proporcionan tiempo adicional para el crecimiento. Durante la G1, si las condiciones ambientales son adecuadas, comienza el proceso irreversible de la división celular, siempre que la célula cuente con el tamaño mínimo para ello. Si las condiciones ambientales no son adecuadas para la entrada en el ciclo, la célula entra en G0, período de quiescencia, en el que puede permanecer largo tiempo. Además, desde este estadio de G0 la célula es sensible a señales de diferenciación, en el caso de organismos pluricelulares, o de inicio de procesos sexuales en el caso de organismos unicelulares. Si las condiciones ambientales vuelven a ser favorables, la célula puede volver a iniciar ciclos de división. En la fase G2, si se ha completado correctamente la fase S se inicia la mitosis. De lo contrario hay un tiempo de espera en el que se realizan las reparaciones necesarias. En la regulación actúan numerosos factores genéticos y bioquímicos. Entre estos últimos se destaca un tipo de proteínas denominadas quinasas, que intervienen en la entrada en ciclo, la síntesis de ADN y la regulación de la mitosis, procesos claves del ciclo celular.

A pesar de que el ciclo celular se halla fuertemente regulado, hay células que pierden este control: las células cancerosas. Estas células difieren de las células normales en muchas características, incluyendo la pérdida de la capacidad de diferenciación, el aumento de invasividad y la disminución de la sensibilidad a las drogas citotóxicas. Estas características son resultado de la proliferación celular descontrolada y del proceso de evolución de la célula normal hacia una célula con potencial tumorígeno. La alta incidencia de cáncer, como una función de la longevidad celular, sugiere que se requieren múltiples alteraciones génicas para un proceso tumorígeno.

Desarrollaremos algunas cuestiones de la regulación del ciclo celular y su relación con el cáncer mediante dos textos extraídos de sitios de Internet.

### **1. El cáncer es una enfermedad donde la regulación del ciclo celular se descontrola y el crecimiento normal y el comportamiento de la célula se pierden.**

El control de la integridad del ADN antes de entrar en mitosis es fundamental para evitar la transmisión de mutaciones de todo tipo, incluidas aberraciones cromosómicas importantes. Si existen anomalías como una incompleta duplicación o una excesiva síntesis, la célula detiene el ciclo. Este control se relaja o se pierde totalmente en las células cancerosas.

Existe un punto de control durante la transición de metafase a anafase en la mitosis denominado punto M, que asegura que no haya errores en la formación del huso acromático o en el alineamiento de los cromosomas en la placa ecuatorial y se produzca un reparto igualitario de cromosomas entre las dos células hijas. Es aún poco lo que se conoce de los mecanismos implicados en estos procesos y en su control, pero habida cuenta de que las células cancerosas presentan frecuentemente inestabilidad de cromosomas que conduce a aneuploidias (números anormales de cromosomas), defectos en la segregación cromosómica pueden ser la causa de algunos cánceres. Apoyando esta idea, recientemente se han identificado algunos oncogenes implicados en el control de este proceso.

Síntesis extraída de [www.cnio.es/cancer/cap72.html](http://www.cnio.es/cancer/cap72.html) -

### **2.- El colesterol es un regulador del ciclo celular y de la embriogénesis**

En los últimos años se están descubriendo funciones insospechadas del colesterol, como su papel fundamental en la regulación de la embriogénesis. Pero además, de acuerdo con un trabajo desarrollado en el Servicio de Bioquímica e Investigación del Hospital Ramón y Cajal, de Madrid, la conclusión del ciclo celular depende de la presencia de colesterol en la célula. Hasta ahora se sabía que el colesterol es esencial para la formación y función de la membrana plasmática y lo que se ha demostrado en ese instituto español es que el colesterol ejerce un papel regulador de la proliferación; es decir, independientemente de que la célula tenga o no membrana, la falta de colesterol impide que se genere una señal y que se complete el ciclo celular.

#### **Señales celulares**

Los investigadores explican que el ciclo celular comprende varias fases: reposo o G0; G1, cuando al recibir una señal proliferativa se inicia la maquinaria mitótica; una vez superado el punto de control -punto de restricción- la célula entra en fase S, donde se duplica el ADN, para llegar al G2, en donde se establece el segundo y último punto de

control que, si se supera, se entra en fase de mitosis". Su estudio señala que las células que carecen de colesterol experimentalmente se detienen en G2, inhibiéndose en su punto de control. Si no reciben colesterol en cierto tiempo, entran en apoptosis.

Extraído de [www.diariomedico.com](http://www.diariomedico.com)

*Retomemos la idea: cáncer y oncogenes que aparece en el primer texto.*

Se ha demostrado la existencia de genes con acción sobre la proliferación celular, que controlan el crecimiento y supervivencia celular. Entre estos genes están los denominados "protoncogenes" que son genes normales, pero que bajo ciertas circunstancias se pueden transformar en oncogenes porque produce, excesiva y descontrolada proliferación celular y por lo tanto, la aparición de ciertos tipos de cánceres. En algunos casos son virus los que modifican la expresión de los protoncogenes y los convierten en oncogenes. No obstante un protocogen presente en una célula que no ha sido infectada por un virus también puede mutar por otra causa y convertirse en oncogen.



### *Un aporte para el aula*

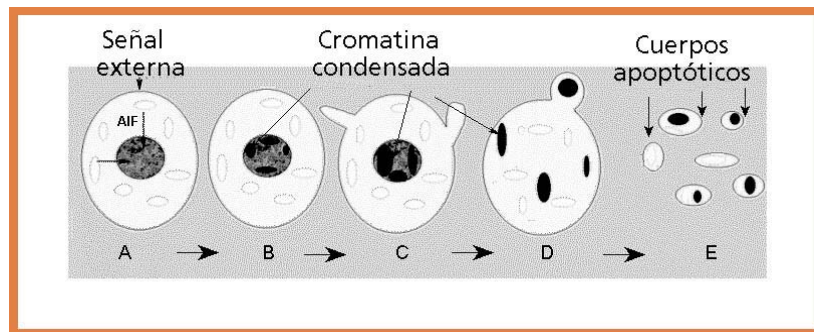
Los artículos obtenidos de Internet que le presentamos en esta parte, junto con otros que usted o sus alumnos podrían buscar por el mismo medio, pueden convertirse en interesantes recursos para actividades con las cuales trabajar este tema de gran actualidad científica y enorme importancia social por su relación con la salud.

Por otra parte también existen los genes supresores de tumores que inhiben la producción anormal de células. Que haya un defecto en este tipo de genes supresores elimina un filtro natural de células tumorales y en consecuencia se producen cuadros cancerosos.

Estos aspectos plantean nuevas perspectivas: el desarrollo de nuevas estrategias preventivas y quimioterapéuticas para el tratamiento del cáncer requerirá de un mejor entendimiento de los constituyentes moleculares de los puntos de control del ciclo celular y de la maquinaria de reparación del ADN.

El segundo texto extraído de Internet finaliza con el término apoptosis o muerte celular programada, retomemos este concepto.

Cuando una célula normal completa su función fisiológica o percibe un daño genético o celular, pone en funcionamiento un proceso fisiológico denominado apoptosis que induce su propia muerte. La muerte de las células (un fenómeno natural), tiene como fin evitar que perduren células que acumulan mutaciones y que, a la larga, pueden volverse cancerosas. Por eso también este hecho se denomina muerte celular fisiológica o programada y se produce tanto en el desarrollo



embrionario como en el organismo adulto. Este tipo de muerte permite que sobrevivan otras células y por eso se lo llama "suicidio celular". Es considerado un importante mecanismo "fusible" que impide la existencia de células que acumulan mutaciones y que, a la larga, pueden volverse cancerosas.

Usualmente, las células mueren por apoptosis, proceso controlado por mecanismos de la propia célula. No es así en la muerte celular accidental (ocasionada por traumatismos, tóxicos, afecciones vasculares, etc.) conocida como necrosis. En el siguiente esquema se sintetizan los cambios morfológicos que acontecen en una célula que sufre de apoptosis ([http://fai.unne.edu.ar/biologia/cel\\_euca/regulacion.htm](http://fai.unne.edu.ar/biologia/cel_euca/regulacion.htm)).

- A. Célula normal con orgánulos en su citoplasma y un núcleo con su cromatina heterogénea
- B. Comienzo de la compactación de la cromatina
- C. Gran condensación de la cromatina, protuberancias en la superficie celular
- D. Desaparece la membrana nuclear y se observan formas esféricas u ovoides de cromatina condensada. La célula comienza a fraccionarse en los denominados **cuerpos apoptóticos** (componentes citoplasmáticos y nucleares rodeados por membrana plasmática).
- E. Célula fragmentada en cuerpos apoptóticos, estos cuerpos son eliminados por las células fagocitarias que en realidad comienza en una etapa mas temprana.

Que la apoptosis es un proceso natural regulado y no el resultado de un daño queda destacado por el hecho de que el citoplasma no entra en contacto con el espacio extracelular, no apareciendo inflamación simultánea como lo es en el caso de la necrosis.

El análisis anterior le ha brindado una serie de conceptos que junto al tema de control celular retomaremos en la siguiente actividad.

Pero antes debemos aclarar que el crecimiento en un organismo está cuidadosamente controlado, mediante la regulación del ciclo celular. En las plantas, las raíces continúan creciendo mientras incorporan agua y nutrientes. Estas regiones de crecimiento sirven para estudiar el ciclo celular porque en cualquier momento se pueden encontrar células que están sufriendo mitosis.



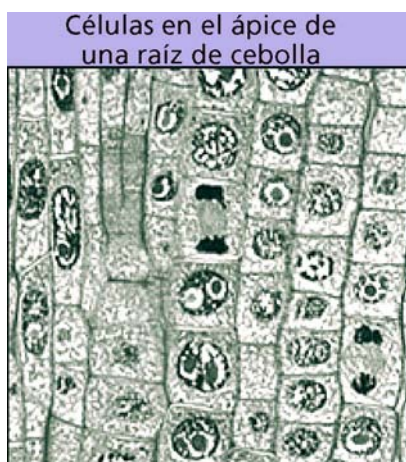
## ACTIVIDAD N° 7

Como dijimos en el capítulo 1, la ciencia trabaja sobre la base de preguntas relacionadas con problemas. La búsqueda de solución a los mismos, origina una serie de actividades cognitivas como la elaboración de hipótesis, principios o teorías, sujetas a refutación. La comprobación de las hipótesis muchas veces conduce al diseño de experimentos, factibles de replicar en condiciones controladas. El trabajo con experimentos en el aula no solo puede facilitar el aprendizaje de contenidos conceptuales sino también posibilita la discusión acerca de aspectos específicos del conocimiento científico.

Temas como los anteriores de oncogenes y muerte celular suelen ser poco vistos en la escuela a pesar de que podrían generar mucho interés. Le presentamos a continuación una actividad cuyo propósito es hacer retomar el marco explicativo de dichos conceptos y diseñar un trabajo de laboratorio.

Seguramente usted ya sabía que con los ápices de las raíces de cebolla se pueden hacer preparados para visualizar células en mitosis. Le brindamos a continuación una breve explicación de la técnica para la obtención de dichos preparados.

El material que necesita: cebollas, un recipiente con agua de la canilla, pinza de punta fina, pincel, bisturí o cuchilla de afeitar, dos vasos de precipitados u otros recipientes de vidrio resistentes al calor (uno grande y uno pequeño), embudo, papel de filtro, mechero, trípode y tela metálica (u hornalla de cocina), vidrio de reloj (o platito), portaobjetos, cubreobjetos, carmín acético.



El carmín acético es una solución colorante que se prepara con 55 ml de agua destilada; 45 ml de ácido acético y 5 ml de carmín. Para obtenerlo hervir el agua destilada adicionando lentamente el ácido acético. Luego incorporar el carmín y mantener en ebullición durante 5 minutos. Dejar enfriar y filtrar.

Procedimiento: se dejan crecer raíces de una cebolla colocando la base del bulbo en agua durante 3 ó 4 días, hasta que haya alcanzado una longitud aproximada de 3 cm. Se cortan los

ápices a una distancia de 3 ó 4 mm del extremo terminal. Levantando los ápices con un pincel se los coloca dentro de un recipiente de vidrio con el carmín acético. Se calientan suavemente sin que lleguen a hervir. Luego se retiran los ápices con el pincel y se los coloca en el vidrio de reloj.

Se toma un ápice y se lo lleva sobre un portaobjetos, se lo secciona y machaca con la pinza o el bisturí. Se añade una gota de carmín y luego se tapa con el cubreobjetos. Se sigue presionando el preparado suavemente, por ejemplo con la goma de borrar del extremo posterior de un lápiz, de este modo se logra una preparación delgada en la que es más sencillo observar las células. Finalmente se lleva al microscopio el preparado del ápice teñido y deshecho.

Seguramente en el preparado del ápice de la raíz de cebolla aparecen muchas células en diferentes fases del ciclo celular, algo muy similar a la siguiente fotografía obtenida del microscopio óptico que acompaña este texto.

Aunque cada célula haya quedado fijada tenga presente que el ciclo celular es un proceso continuo y la mitosis también. Únicamente se divide en 4 fases, cada una caracterizada por importantes eventos, con el fin de facilitar su comprensión, pero estas divisiones son arbitrarias.

1. Suponga que pudiera llevar a cabo con sus alumnos la técnica descrita.

Diseñe el trabajo práctico que propondría a sus alumnos.

¿Qué objetivo perseguiría?

¿Qué contenidos conceptuales, actitudinales y procedimentales podría revisar mediante la actividad que diseñó?

¿Cuál sería la secuencia de consignas que le plantearía a sus alumnos? Justifíquela.

¿Cuáles cree que son las ventajas y desventajas de desarrollar una actividad de este tipo con sus alumnos?

## 2. Revise las conceptualizaciones previas:

seleccione todos los conceptos que permitirían que Ud. explique lo que son los oncogenes y la muerte celular;

elabore una explicación sobre dichos temas y relaciónelos con la mitosis.

La revisión teórica que hizo para resolver la actividad anterior le habrá permitido aclarar el papel del ADN en la mitosis y la relación entre mitosis y apoptosis. Creemos que esta actividad le posibilita a los alumnos vivenciar un proceso que en general solo se ve en los libros de texto y en teoría. Además, permite desarrollar contenidos procedimentales y a bajo costo, así como revisar actitudes respecto del conocimiento científico, por ejemplo la valoración de las pruebas obtenidas mediante experimentos.

En Internet hay sitios muy interesantes donde no solo podrá ver animaciones relacionadas con la división celular, sino también podrá interactuar con dicho proceso. [www.biologia.arizona.edu](http://www.biologia.arizona.edu) es un sitio que se denomina “El Proyecto Biológico” de la Universidad de Arizona y ha sido traducido al español por la Universidad de Chile y la Universidad de Formosa de Argentina. [www.iibce.edu.uy/uas/biomed/meios.htm](http://www.iibce.edu.uy/uas/biomed/meios.htm) es el sitio del Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable y también tiene muy buenas animaciones.

## El número cromosómico y la meiosis

*¿Cómo es el mecanismo que mantiene constante el número de cromosomas de generación en generación?*

Como ya vimos, la distribución regular de los cromosomas por medio de la división celular mitótica mantiene la constancia del número y de las demás características cromosómicas en todas las células del individuo. De acuerdo con esto el crecimiento de un organismo multicelular depende básicamente de la reproducción de sus células por mitosis.

La mayoría de los organismos de organización compleja se reproducen sexualmente, es decir se originan a partir de la fecundación de gametas, formándose un cigoto que presenta un número diploide en su núcleo característico de la especie. A partir de la cigota, por sucesivas mitosis y procesos de diferenciación y especialización celular, se forma el organismo. De este modo la mitosis es el proceso que garantiza que todas las células tengan el mismo número de cromosomas y la misma información.

Cuando se forman las células sexuales se reduce a la mitad el número cromosómico de manera tal que luego en la fecundación se recupera el número típico de la especie.

Es la meiosis el proceso que “contrarresta” los efectos de la fecundación, asegurando que el número de cromosomas sea constante de generación en generación. Pero también la meiosis produce variaciones dentro de los cromosomas y en la distribución de los cromosomas en las células hijas, por eso asociamos la meiosis con cambio.

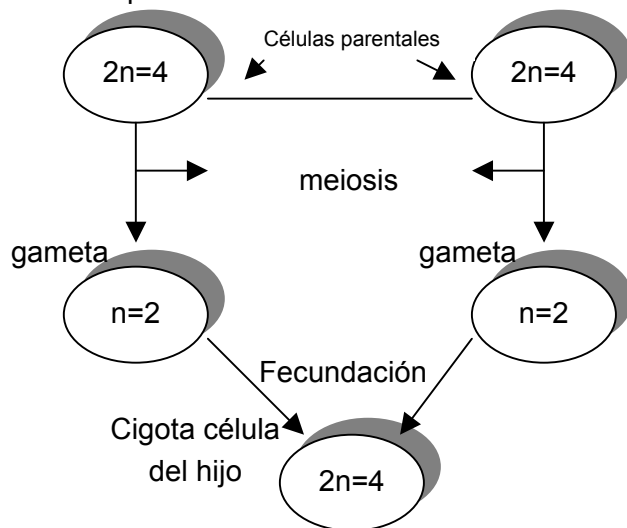
Hablar sobre cómo el número cromosómico y sus características se mantienen de una generación a otra, es introducirnos en aspectos relacionados con la reproducción. Por ahora sólo nos dedicaremos a la meiosis, en el capítulo 3 integraremos este mecanismo de producción de gametas a los procesos de reproducción.

La meiosis se produce en las células de las llamadas líneas germinales, en los órganos genitales o reproductivos. La meiosis es un proceso de **diferenciación celular** que genera en los individuos masculinos los gametos masculinos, y en los individuos femeninos, las gametas femeninas. Por lo tanto, durante **la meiosis no se produce multiplicación celular, sino formación de células sexuales o gametas**. Solo ocurre en aquellas células que formarán las gametas una única vez (de ahí que, tampoco es equivalente a la mitosis que puede repetirse después de cada interfase).

Al finalizar la meiosis, se obtienen células hijas (las gametas) con un cromosoma de cada par de homólogos. Así una gameta cuenta con la información para todos los rasgos estructurales y funcionales del organismo al que pertenece. Pero el juego cromosómico de una gameta tiene la mitad de los cromosomas que el juego cromosómico de cualquier célula somática y de la célula madre de la línea germinal.

La reproducción además de la meiosis también incluye la atracción, el apareamiento, el intercambio y la ulterior separación de los cromosomas homólogos paternos y maternos, con sus respectivos conjuntos de genes.

En el siguiente esquema se representa el proceso de reproducción en un organismo con  $2n=4$ , (4 cromosomas en su estado diploide) y el lugar que ocupa la meiosis en dicho proceso.

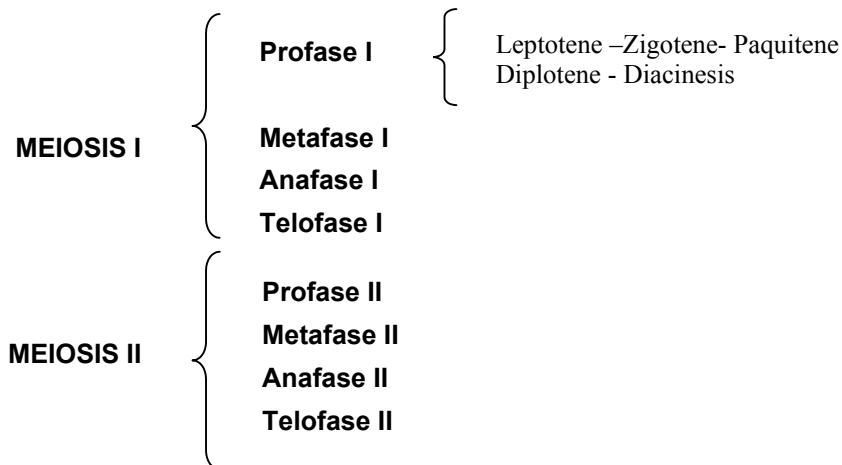


Básicamente en la meiosis se reduce el número cromosómico, o sea que de una célula diploide se obtienen células haploides y se forman células con variaciones en la información genética, de tal modo que las células hijas no son similares a las células madre, aunque tengan todos los genes correspondientes.

Como la meiosis evolucionó a partir de la mitosis, varios de los acontecimientos son parecidos o similares a los que se presentan en la mitosis. En esencia, la meiosis consta de dos divisiones nucleares que se suceden rápidamente, mientras los cromosomas se duplican sólo una vez:

1. Etapa reduccional o meiosis I, precedida de una interfase con duplicación del ADN.
2. Etapa ecuacional o meiosis II, que se realiza sin duplicación previa del ADN.

Como resultado se forman 4 células, cada una con un número haploide de cromosomas (este aumento del número de células no tiene el significado de una proliferación celular). El desarrollo clave de la meiosis, del cual depende todo lo demás, se produce en la Interfase y en la profase de la primera división meiótica, por eso, para su mejor estudio, a esta profase se la subdivide en subfases.



Dada entonces la complejidad de este proceso, recordaremos los principales eventos que ocurren en la meiosis I.

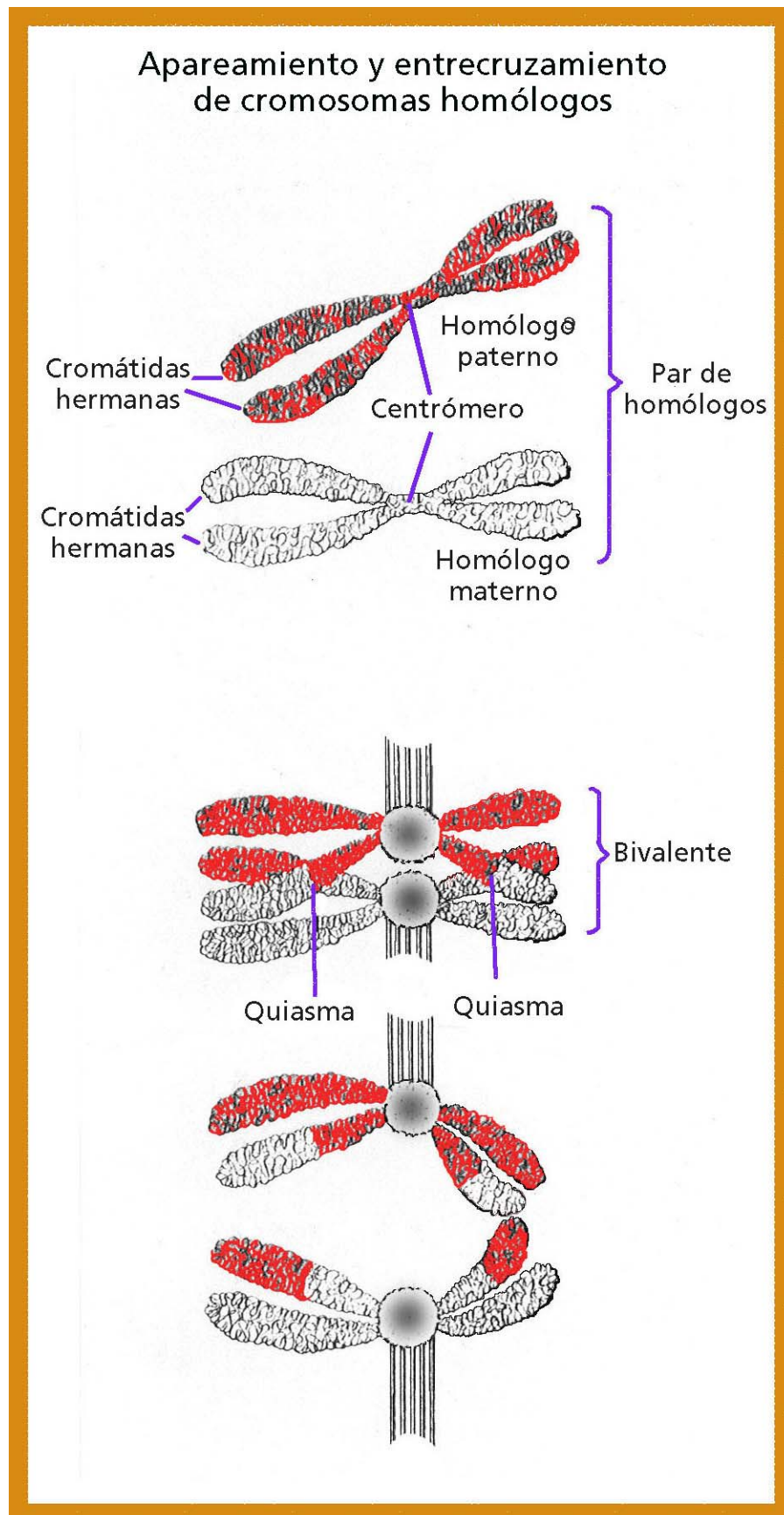
**Interfase: duplicación de los cromosomas,** se forman cromosomas con cromátidas hermanas unidas por el centrómero.

### **Meiosis I**

#### **Profase I**

1. Reconocimiento y apareamiento de los cromosomas homólogos: este suceso difiere de la profase de la mitosis donde cada cromosoma se comportaba independientemente de los demás. La profase I de la meiosis comienza cuando cada cromosoma ya duplicado (y por lo tanto con dos cromátidas) se aparea con su homólogo. El duo de cromosomas homólogos apareados son llamados tétradas por estar formado por cuatro cromátidas y dos centrómeros. Los cromosomas homólogos, recordemos, son los miembros de cada par de cromosomas, uno paterno, y lleva su versión de los genes y el otro miembro del par proviene y es portador de los genes de origen materno. Este apareamiento es un rasgo exclusivo de la meiosis ya que permitirá el intercambio genético.
2. Entrecruzamiento e intercambio genético: en la primera etapa (paquinema) se produce un fenómeno de importancia vital, que puede alterar la distribución de la información genética. Se produce el entrecruzamiento, recombinación génica o también denominado cross-over que se caracteriza por el intercambio de segmentos de un cromosoma con el segmento correspondiente del otro homólogo.

El apareamiento de estos cromosomas permite que se pongan en contacto el ADN de las moléculas de ambos cromosomas, en zonas o genes (homólogos) que portan información genética para el mismo carácter. Durante esa etapa se produce un elevado número de fracturas en las moléculas del ADN, que posibilitan el intercambio de fragmentos entre cromátidas no hermanas. Es decir, las cromátidas no hermanas, paterna y materna, pueden entrecruzarse y romperse en los puntos de fusión dando lugar a un intercambio (o cross-over) y recombinación de segmentos cromatídicos y por lo tanto de los genes en ellos localizados. Una vez producido el cross-over el homólogo maternal contiene segmentos del homólogo paternal y viceversa. Este entrecruzamiento es un importante mecanismo para recombinar el material genético de los dos progenitores. Luego los cromosomas comienzan a repelerse quedando unidos por ciertos puntos denominados quiasmas (expresión morfológica del intercambio).



**Metafase I:** las tétrades se alinean en el plano ecuatorial.

**Anafase I:** separación de los cromosomas homólogos.

Recordemos que cada cromosoma está formado por dos cromátidas, pues ya está duplicado, y que además estas cromátidas han sufrido intercambio genético. Esta separación de los cromosomas homólogos se denomina “segregación” y como consecuencia cada cromosoma (con sus dos cromátidas) se dirige a polos opuestos. Cada polo recibe una recombinación al azar de cromosomas paternos y maternos, pero sólo un miembro de cada par estará presente en cada polo. Esto difiere de lo que ocurre en la anafase de la mitosis, en la cual son las cromátidas hermanas las que se separan.

**Telofase I:** los procesos que acá ocurren son similares a los de la mitosis: descondensación de los cromosomas y reorganización de la membrana nuclear. Dependiendo de la especie se forma la nueva envoltura nuclear, y la citocinesis puede o no producirse.

Al final de la meiosis I se obtienen dos células hijas. Cada una con la mitad del número cromosómico, pero cada cromosoma aún está duplicado (recordemos que en la anafase I, se separaron los homólogos). Debido a que se ha reducido a la mitad el número cromosómico, a la meiosis I se la denomina **reduccional**.

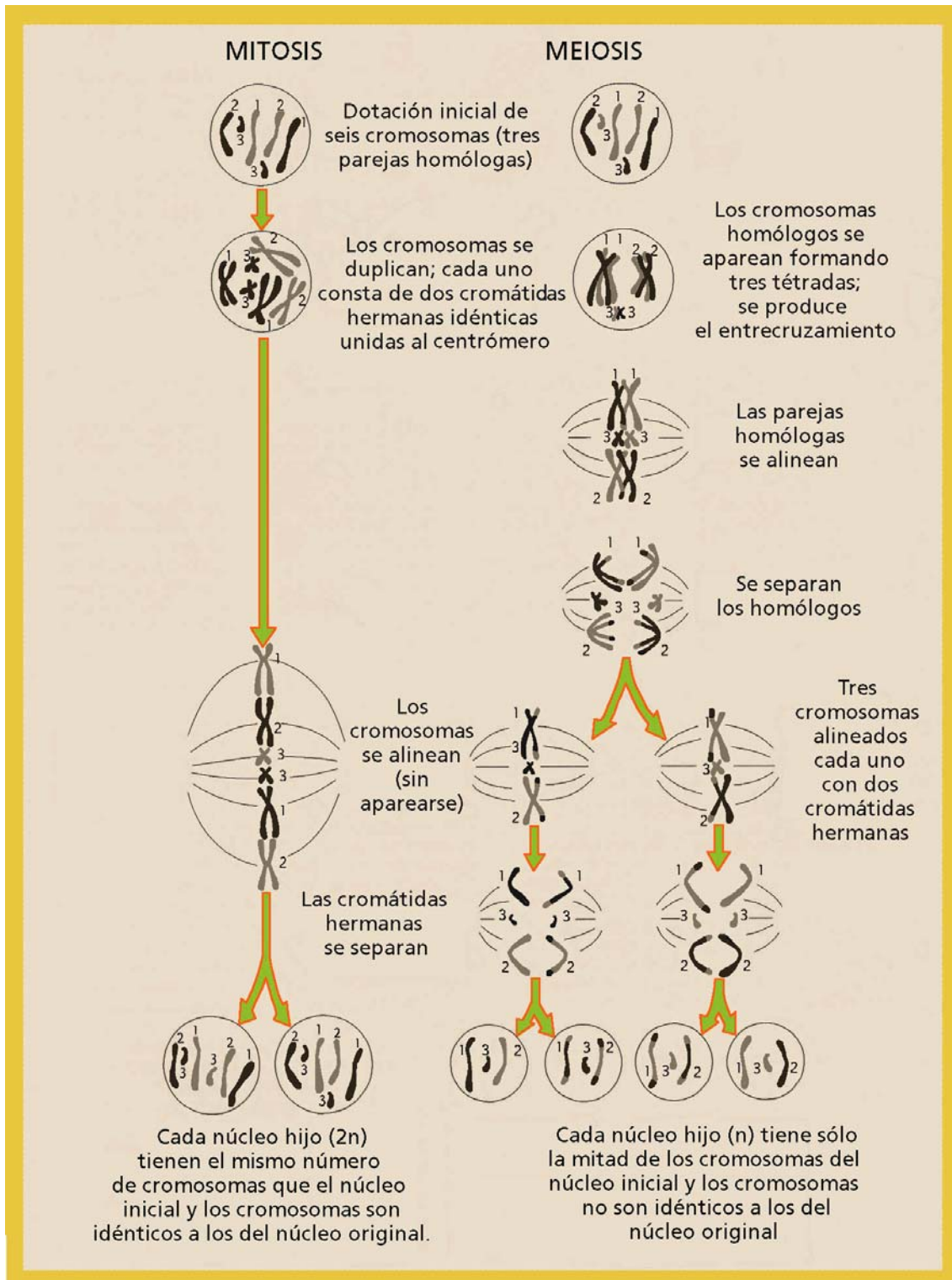
**Resultado de la meiosis I (etapa reduccional):**

- Reducción del número cromosómico de diploide a haploide. Se forman dos células hijas con la mitad del número cromosómico, aunque la cantidad de material hereditario esté duplicado, ya que cada cromosoma tiene dos cromátidas que aún no se han separado.
- Producción de variabilidad genética debido a dos procesos a) intercambios genéticos por lo cual los cromosomas pueden ser diferentes de los que originalmente se encontraban en la célula madre y b) distribución al azar de los cromosomas homólogos.

La meiosis I es generalmente seguida por la meiosis II con poca o ninguna interfase. Es importante recordar que los cromosomas no se duplican entre la meiosis I y la meiosis II.

**Meiosis II:** este proceso es similar a la **mitosis**. Las cromátidas hermanas de los cromosomas dobles, producto de la meiosis I se separan y migran hacia la célula hija. Es por ello que a la meiosis II se la denomina **ecuacional**.

Las fases de la meiosis II son similares a las de la mitosis. La separación de las cromátidas hermanas ocurre en la anafase II de la meiosis de la misma forma que ocurre en la anafase de la mitosis, sin embargo tengamos presente que se trata de cromátidas recombinadas que serán segregadas al azar e independientemente una de otras. De esta forma se aporta variabilidad.



**Síntesis final de la meiosis:** Como consecuencia de esa doble división se producen 4 células haploides que contienen la mitad del número cromosómico característico de la especie. La primera división es reduccional y el resultado es la formación de dos células hijas cada una con "n" cromosomas.

La segunda división es como una división mitótica normal y su resultado final es la formación de cuatro células hijas cada una de las cuales tiene un núcleo con "n" cromosomas. Además hay intercambio genético producido por el intercambio en la profase I y por la distribución al azar de los cromosomas en la anafase II.

**Consecuencia de la meiosis:** Es el proceso mediante el cual se obtienen células especializadas para intervenir en la reproducción sexual.

- Reduce a la mitad el número de cromosomas, y así, al unirse las dos células sexuales, vuelve a restablecerse el número cromosómico de la especie.
- Se produce una recombinación de la información genética.
- La meiosis origina una gran variación de gametos, debido al entrecruzamiento de segmentos de los cromosomas homólogos y la distribución al azar de los cromosomas en las células hijas.

A continuación trataremos un tema complementario con el anterior y que es parte de las actuales discusiones: el envejecimiento celular

### *El envejecimiento celular*

Se han realizado numerosos avances que están aproximándonos a explicar el fenómeno del envejecimiento celular, para poder así entender la fisiopatología de enfermedades cardiovasculares, cáncer, deterioro del sistema inmune y del sistema nervioso del hombre. En los dos textos siguientes encontrará información sobre una de esas hipótesis y recientes hallazgos que la sustentan. Aun son numerosas las hipótesis coexistentes adaptados de [www.iibce.edu.uy/uas/biomed/](http://www.iibce.edu.uy/uas/biomed/) sitio del Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable.

1. "La estabilidad del cromosoma es esencial para asegurar la vida celular, numerosos accidentes genéticos, incluyendo la activación de proto-oncogenes y la pérdida de genes supresores de tumores, pueden llevar a la estimulación del ciclo celular, desencadenando la división de la célula. Felizmente las células poseen una serie de mecanismos para controlar y balancear el ciclo celular evitando el crecimiento descontrolado. Uno de los mecanismos más conocidos es el de **apoptosis, o suicidio celular**, gatillado por el gen p53 en presencia de señales de crecimiento aberrantes; otro importante mecanismo lo constituye el acortamiento progresivo de los extremos cromosomales, que ocurre en cada división celular, contribuyendo al envejecimiento celular.

Todos los eucariotes tienen cromosomas lineales y en los extremos presentan una área determinada que se denomina **telómeros**, cuya función es proteger el cromosoma de su degradación y recombinación. Ya en 1930, Barbara McClintock (premio Nobel de Medicina en 1984) y Müller describieron que los cromosomas rotos, sin telómeros, eran inestables. Posteriores experimentos en protozoos, hongos y mamíferos han demostrado la composición de los telómeros y su importancia.

Recientes hallazgos describen un acortamiento del tamaño del telómero con la edad en células normales somáticas humanas pero se encuentran estables en células tumorales, lo que ha sugerido el rol de los telómeros en la muerte celular y en la inmortalización de células neoplásicas.

Las secuencias de DNA que se encuentran en el telómero son sintetizadas por una enzima denominada **telomerasa**, enzima ribonucleoproteica, denominada así por ser una proteína unida a una fracción de RNA, aislada por primera vez en 1985 por Gleider y Blackburn, y en humanos fue descrita por Morin cuatro años más tarde.

La extensión del telómero por la telomerasa es requerida para contrarrestar el normal encogimiento del cromosoma que ocurre en cada duplicación celular.

Por lo tanto la longitud del telómero está determinada por el balance entre el número de divisiones celulares y la actividad de la telomerasa. El mecanismo para mantener una porción cromosómica terminal estable es similar en diferentes organismos.

La existencia de dos sexos diferentes que aportan distintas gametas, es muy importante en términos genéticos, ya que como sabemos, por la meiosis se produce recombinación con intercambio de ADN entre cromosomas y con redistribución al azar de los cromosomas en las gametas.

Además de la replicación del telómero, la enzima telomerasa está involucrada en la reparación cromosómica, tal como lo demostró McClintock, al comprobar que los cromosomas sometidos a repetidos ciclos de cortes y fusión a veces espontáneamente curan como si hubieran regenerado el telómero. Esta habilidad de reparar depende del tipo de tejido en el que se localiza el cromosoma alterado, y el fenómeno ha sido descrito en diversas especies.

La importancia de mantener el tamaño de los telómeros en sucesivas divisiones celulares ha sido claramente demostrada. En humanos, las células germinales expresan telomerasa y mantienen el tamaño del telómero durante toda su vida. En contraste, los tejidos somáticos no tienen telomerasa, y por lo tanto pierden progresivamente la longitud del telómero; se calcula que los telómeros de células de la piel y sangre son más cortos que el de las germinales, perdiendo entre 15 a 40 nucleótidos por año.

La hipótesis del envejecimiento celular e inmortalización gobernada por el telómero postula que la presencia de telomerasa activa en células germinales permite mantener telómeros largos y estables; pero la enzima se encuentra reprimida en células somáticas, ocasionando pérdida del tamaño del telómero en las células en división.

2. En pacientes aquejados de progeria, el síndrome de envejecimiento prematuro, se observó que presentan un significativo acortamiento de los telómeros. Este hallazgo ha llevado a la hipótesis de que el tamaño del telómero sirve como un reloj biológico que regula el tiempo de vida de las células normales, siendo pieza fundamental para entender el envejecimiento celular. También en portadores del síndrome de Down, se ha visto un envejecimiento prematuro, llegándose a calcular que pierden 133 pares de bases teloméricas por año, comparado con 41 de los controles normales. Esta observación refuerza la hipótesis de que en este síndrome hay un acelerado recambio celular y consecuentemente una pérdida telomérica...” ([www.iibce.edu.uy](http://www.iibce.edu.uy)).



### *Un aporte para el aula*

**En relación con los textos adaptados de Internet les proponemos que reflexionen sobre las siguientes cuestiones:**

- ¿Qué conocimientos agrega este artículo a los contenidos que se desarrollaron hasta aquí en este capítulo?
- ¿Cree que el tema del envejecimiento celular es interesante para transferirlo al aula?  
¿Por qué?
- ¿Qué contenidos actitudinales le permitiría desarrollar con los alumnos?

## La determinación del sexo y el cariotipo

### *¿Cómo se determina el sexo?*

La determinación del sexo ha sido una de las intrigas más importantes que ha tenido el hombre. Como seres humanos, siempre hemos querido saber si nuestros hijos serían niños o niñas y cómo es que eso es así. Como pastores o criadores de algún tipo de animal doméstico (vacas, caballos, cabras, etc.), también hemos necesitado de ese conocimiento. La humanidad ocupó mucho tiempo en encontrar la respuesta correcta a esa incógnita.

Volvamos en el tiempo a la época de gloria de Grecia, cuyos filósofos fueron sin duda, los primeros científicos.

El mismo Aristóteles (384-322 a.c.) intentó buscar alguna explicación y escribió sobre el tema. Primero, refutó ideas previas. Por ejemplo, no consideró válida la interpretación de Empédocles (490-430 a.c.) que se fundaba sobre la base de diferencias en la temperatura del útero, por un lado, porque las diferencias de temperatura no deberían ser significativas, y por otro lado, porque había mellizos macho y hembra que a menudo se encontraban juntos en la misma zona del útero. Tampoco juzgó válida la solución de Anaxágoras (500-428 a.c.), quien afirmó nada menos que *"el testículo derecho producía los machos o varones y el izquierdo, las hembras o mujeres"*. De todos modos, Aristóteles en sí mismo, no aportó muchas ideas al respecto. No sabemos bien qué base empírica le sirvió para sugerir que *"el agua fría ocasiona el nacimiento de las hembras"*... Asimismo, fue cauteloso en informar cómo era la determinación del sexo en las ovejas poniendo énfasis en el conocimiento popular, ya que en forma vaga escribió que ... *"los pastores dicen que, no sólo hay una diferencia en la producción de machos y hembras si la cópula tiene lugar cuando soplan los vientos del norte o del sur, sino aún si los animales, mientras copulan, miran hacia uno u otro de los puntos cardinales indicados"* ...

Fue necesario llegar a fines del siglo XIX y principios del siglo XX, para empezar a dilucidar que los cromosomas tenían un papel fundamental en la determinación del sexo. Tanto el desarrollo de microscopios con mayor resolución como el conocimiento de las divisiones celulares mitótica y meiótica, fueron de capital importancia. En 1891 se detectó una estructura nuclear, visible como un punto oscuro bien notable, que estaba en la mitad de las gametas de algunos insectos, en tanto faltaba en el resto. Su descubridor, el alemán H. Henking, no especuló con el significado de este cuerpo y como era un enigma, lo denominó **cuerpo X**.

Más tarde, se determinó que en algunas especies de langosta las células del cuerpo de las hembras tenían un **número de cromosomas diferente** del de los

machos. Seguidamente, se comprobó que todas las gametas de esas hembras tenían el mismo número de cromosomas, en tanto que las de los machos mostraban dos números distintos, cada variante se presentaba en el 50% de los casos. Esto en números sería así: los machos tenían 13 cromosomas en sus células y las hembras llevaban 14, el 50% de las gametas de los machos tenían 6 cromosomas y el 50% restante 7 cromosomas, en tanto que todas las gametas de las hembras contaban con 7 cromosomas.

El llamado cuerpo X por Henking fue identificado como un cromosoma, al cual se lo llamó por ello **cromosoma X** y resultó jugar un papel esencial en la determinación del sexo. Todos los óvulos (o gametas femeninas) de estos insectos tenían ese cromosoma X, pero sólo estaba incluido en la mitad de los espermatozoides (o gametas masculinas), faltando en las restantes.

Los óvulos fecundados por espermatozoides con un cromosoma X producían cigotos con dos cromosomas X, que terminaban siendo insectos hembra, en tanto que aquéllos que recibían espermatozoides sin el cromosoma X, serían machos por tener un solo cromosoma X.

Estos cromosomas X, por determinar el sexo, son llamados **cromosomas sexuales**, mientras que el resto de los cromosomas son conocidos como **autosomas**, o cromosomas no involucrados en la determinación del sexo.

Este sistema de determinación del sexo que acabamos de describir y que fue el primero en descubrirse, se conoce como XO (equis-cero), y el sexo depende de la cantidad de cromosomas X del cigoto, uno (en los machos) o dos (en las hembras).

En otros insectos se observó, en la misma época pero un poco más adelante, un fenómeno distinto. En ellos, el número de cromosomas de machos y hembras era similar, pero el cromosoma X tenía un homólogo que era comparativamente menor, y por ello se lo llamó cromosoma Y. Todos los óvulos de las hembras mostraban un cromosoma X, en tanto que los espermatozoides de los machos se identificaban porque la mitad presentaban el cromosoma X y la mitad restante, el cromosoma Y. De tal modo que los cigotos que tenían la combinación XX, es decir procedían de dos gametas con un cromosoma X cada una, serían hembras y los que eran XY, un óvulo con el cromosoma X y un espermatozoide con el cromosoma Y, serían machos.

Este mecanismo de determinación del sexo, conocido desde entonces como XY, resultó ser el que prevalece entre los animales superiores (incluyendo al hombre) y también ocurre en plantas con sexos separados. En este caso, hay un par heteromórfico de cromosomas sexuales, es decir ambos miembros del par son diferentes en su forma, pero más importante que ello, en los genes que llevan. En el sistema XY es el progenitor masculino el que define el sexo de los descendientes, ya que los progenitores femeninos aportan todas las gametas semejantes con el cromosoma sexual X.

En síntesis, los animales y plantas complejos tienen un mecanismo cromosómico para la determinación del sexo. En animales inferiores, en cambio, a veces la determinación del sexo depende de factores ambientales. Machos y hembras son idénticos genéticamente, pero estímulos del ambiente inician el desarrollo del embrión hacia un sexo o el otro, como sucede en algunos gusanos marinos.

### *El cariotipo*

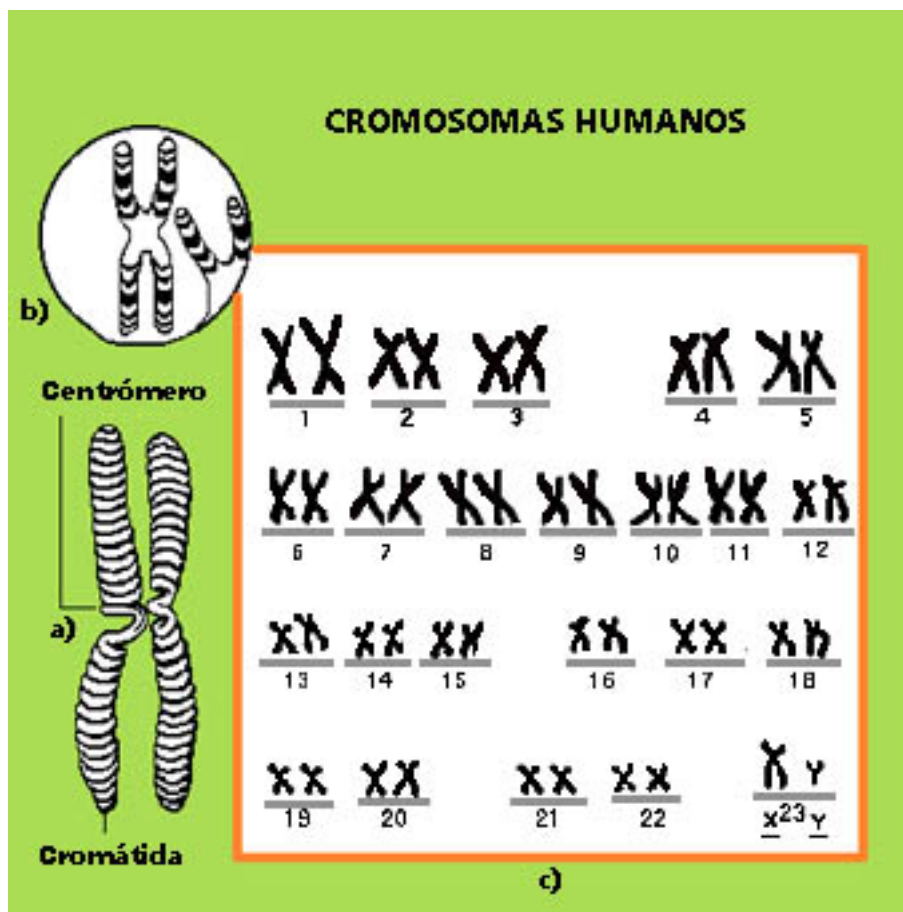
Los cromosomas de una célula pueden ordenarse sistemáticamente de acuerdo con criterios de tamaño y morfológicos. Este ordenamiento constituye un **cariotipo**.

El cariotipo se puede representar por medio de un diagrama llamado idiograma, en el que se ordenan los pares homólogos en series de tamaño decreciente de acuerdo con su morfología.

### *El cariotipo humano*

Un cariotipo humano se elabora fotografiando los cromosomas, por lo general en un leucocito, recortándolos de la fotografía revelada y, posteriormente, disponiéndolos en un orden establecido. Un cariotipo humano, normal, contiene 22 pares de autosomas o cromosomas no sexuales y un par de cromosomas sexuales.

La determinación del cariotipo se realiza cuando se sospecha la existencia de una anomalía cromosómica que puede ser responsable de una enfermedad o de un problema de desarrollo. A menudo se realiza para investigar defectos del nacimiento, crecimiento anormal, retraso mental, retraso de la pubertad, desarrollo sexual anómalo, infertilidad o ciertas alteraciones hereditarias.

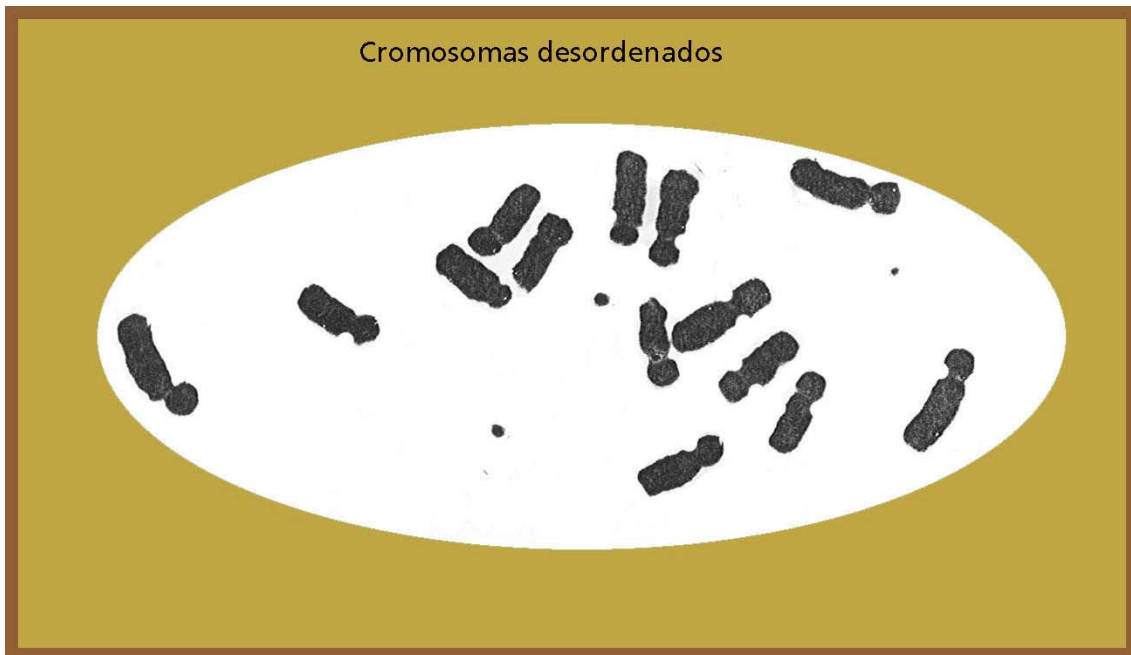


## ACTIVIDAD N° 8

Generalmente en las clases de biología en las que se abordan temáticas de genética relacionadas con la salud solemos mencionar los cariotipos y su función como instrumentos de detección de alteraciones cromosómicas productoras de enfermedades genéticas.

Supongamos que en lugar de realizar un tratamiento verbal del tema usted decide que sus alumnos realicen un cariotipo utilizando la siguiente técnica:

1. Se parte de una foto tomada con microscopio óptico, en metafase, en la cual se ven todos los cromosomas de una célula, bien condensados y sin superposiciones, de tal modo que sean fácilmente individualizables. Un ejemplo de este tipo de microfotografías es la primera de las figuras siguientes. Para lograr que los cromosomas queden de esa forma y que sus fotos sean útiles al propósito de establecer el cariotipo, se usan sustancias que impiden la formación del huso en la mitosis; estos productos químicos hacen que los cromosomas queden muy condensados en la placa metafásica.



2. Se utilizarán dos copias de la microfotografía original o dos fotocopias de la misma. Una de las copias se utilizará para numerar los cromosomas y de este modo identificarlos (no importa cuál es cuál pero todos y cada uno deben tener un número). La segunda copia se utilizará para recortar los cromosomas y armar el cariotipo.
3. Se recortan prolijamente uno por uno los cromosomas de la copia correspondiente, y una vez recortados, se los numera en el reverso con el mismo número que se les había adjudicado en la copia entera. Esto es importante ya que como se puede apreciar en la figura anterior, todos los cromosomas son muy parecidos.
4. El paso siguiente es tratar de ordenar los cromosomas de a pares, según sus características. Recuerde que se trata de los cromosomas de una célula somática de especie diploide, por lo que cada cromosoma tiene su homólogo (en cada par de homólogos uno provino del progenitor masculino y otro del progenitor femenino).



5. A partir de aquí el trabajo consistiría en identificar y ordenar los homólogos. Un resultado puede ser como el siguiente:

Analice:

- a) ¿Qué contenidos de los ya vistos necesitaría retomar con sus alumnos para que ellos pudieran identificar y ordenar los cromosomas de la microfotografía?
- b) ¿Cuáles son las dudas más frecuentes que se plantean en el aula al hablar de cromosomas?
- c) ¿Considera pertinente incluir en sus clases discusiones sobre genética humana? ¿Por qué?
- d) ¿Puede esta actividad generar un ámbito de discusión sobre genética humana? ¿Por qué?
- e) ¿Cómo presentaría esta actividad a los alumnos para que despierte su interés?
- f) ¿En qué momento del desarrollo de los temas de genética la presentaría?

Hay experiencias en biología que son difíciles de realizar en el aula ya que dependen de instrumentos que no disponemos, por ejemplo en este caso los necesarios para fotografiar cromosomas. Sin embargo podemos simular una indagación utilizando los datos ya obtenidos, tanto de situaciones reales como de ficción. En este caso presentando a los alumnos las fotocopias de un cariotipo o de diferentes cariotipos, estos podrían descubrir si un individuo es hombre o mujer o si presenta alguna alteración en su dotación cromosómica.

Si bien hacer un cariotipo es solo una técnica, esta puede ser orientada por usted para revisar conceptos y para motivar la clase, en función del alcance que este tema tiene en el ámbito de la salud.

A partir de lo anterior sus alumnos estarían en condiciones de analizar alteraciones cromosómicas.

## Alteraciones cromosómicas

### *¿Cuáles son las alteraciones que se producen en los cromosomas?*

Así como hemos visto en el capítulo 1 que ocurren mutaciones en el ADN (mutaciones génicas o de punto), las cuales no son visibles, ya que suceden a nivel molecular, existen también las llamadas **mutaciones cromosómicas**, que son cambios en los cromosomas que pueden ser vistos con el microscopio. Estos cambios, que pasan ocasionalmente, pueden producirse por agentes físicos o químicos o bien por errores en la división celular, sea mitosis o meiosis. Las alteraciones pueden afectar el número de cromosomas normal de las células involucradas, o bien se pueden dañar los cromosomas de diversas formas; en otras palabras, alteraciones en el número o la estructura de los cromosomas, respectivamente.

### *Ejemplos de cambios en el número de cromosomas*

Los cambios en el número de cromosomas son causados por eventos que ocurren antes o durante la división celular, de tal modo que las gametas o los nuevos individuos terminan teniendo un número distinto de cromosomas que la dotación normal de la especie. Si el número resultante tiene un cromosoma de más o de menos, se dice que es un caso de **aneuploidía**. Lo más común es que el error ocurra durante la meiosis, en la cual hay no disyunción de algún par cromosómico, es decir, un par de cromosomas homólogos no se reparte normalmente, quedando al final algunas gametas con un cromosoma de más y otras gametas con uno de menos.

Un ejemplo típico en el hombre es el llamado síndrome de Down o mongolismo o trisomía 21. Se trata de un individuo que tiene un cromosoma extra, un homólogo de más en el par número 21, en lugar de tener dos, tiene tres homólogos. Los cromosomas 21 son de los más pequeños de la dotación cromosómica humana. El hecho de tener tres homólogos en lugar de dos, ocasiona numerosos efectos en la persona que porta la trisomía: disminución de la capacidad mental en diverso grado, defectos en el funcionamiento del corazón, problemas esqueléticos, dificultades motrices, entre otros. Se comprobó que hay una correlación entre la edad de la madre y la prevalencia de esta alteración cromosómica: a mayor edad, mayor probabilidad de tener un hijo con el síndrome de Down. La razón por la que se da esta correlación no es muy clara.

Otro tipo de cambio en el número de cromosomas es la **poliploidía**. Los individuos poliploides tienen tres o más juegos completos de cromosomas, en lugar de los dos juegos normales (uno que aporta el progenitor masculino y otro el progenitor femenino).

Los individuos normales con dos juegos de cromosomas son **diploides** ( $2n$ ), y los **poliploides** pueden ser: triploides ( $3n$ ) cuando tienen tres juegos, tetraploides ( $4n$ ) con cuatro juegos y así sucesivamente. La poliploidea ocurre cuando, por ejemplo, una gameta anormal diploide  $2n$  (cuando debería ser haploide o  $n$ ) se une a una normal ( $n$ ) produciendo un individuo triploide ( $3n$ ). Si se fusionan dos gametas anormales diploides ( $2n$ ) el resultado sería un cigoto tetraploide ( $4n$ ).

La poliploidía es común en el reino vegetal pero muy rara en los animales y ha jugado un importante papel en la evolución de las plantas, como veremos más adelante. Los poliploides tienen un aspecto más normal que los aneuploides; curiosamente, un solo cromosoma de más o faltante, descompensa mucho más el balance genético que lo que provoca un juego cromosómico completo.

La poliploidía es muy frecuente entre las plantas vasculares y ha sido importante en el origen de muchas especies. Sucede que el cambio genético ocurrido en los individuos poliploides, los aísla inmediatamente de los restantes miembros de su población con los cuales ya no pueden cruzarse. Así, se inicia un camino evolutivo distinto para los poliploides.

Se conocen dos tipos diferentes de poliploides:

1. Los **autopoliploides** son individuos que tienen varios juegos cromosómicos provenientes de la misma especie. Se originan por fallas en la meiosis que duplican el número cromosómico de las gametas; así, surgen gametas  $2n$  e individuos  $4n$  o  $3n$  como se ejemplificó más arriba.
2. Los **alopoliploides**, más comunes que los autopoliploides, se producen cuando dos especies distintas contribuyen a su formación. Por excepción, ocurre que gametas de dos especies próximas evolutivamente, con el mismo número de cromosomas, se unan. Lo normal es que el híbrido resultante sea estéril, ya que los cromosomas al no ser homólogos, no se aparean en la meiosis. Sin embargo, por ciertos mecanismos estos híbridos pueden recuperar la fertilidad y se convierten así en una nueva y original combinación genética. Por un error mitótico se produce la duplicación de los cromosomas (por no disyunción) y si esto ocurre en tejidos que darán origen a las gametas, esta duplicación se transmite a ellas. De este modo, cada cromosoma cuenta con un homólogo (cada uno se duplicó) y entonces la meiosis es normal y el individuo es fértil.

## Cambios en la estructura de los cromosomas

Revisemos ahora las raras anomalías que afectan la estructura física de los cromosomas. Estas aberraciones suceden espontáneamente en la naturaleza pero también pueden ser provocadas por algunas sustancias y por radiaciones. Pueden ser detectadas por examen microscópico de células en división, en las cuales se evidencian los cromosomas.

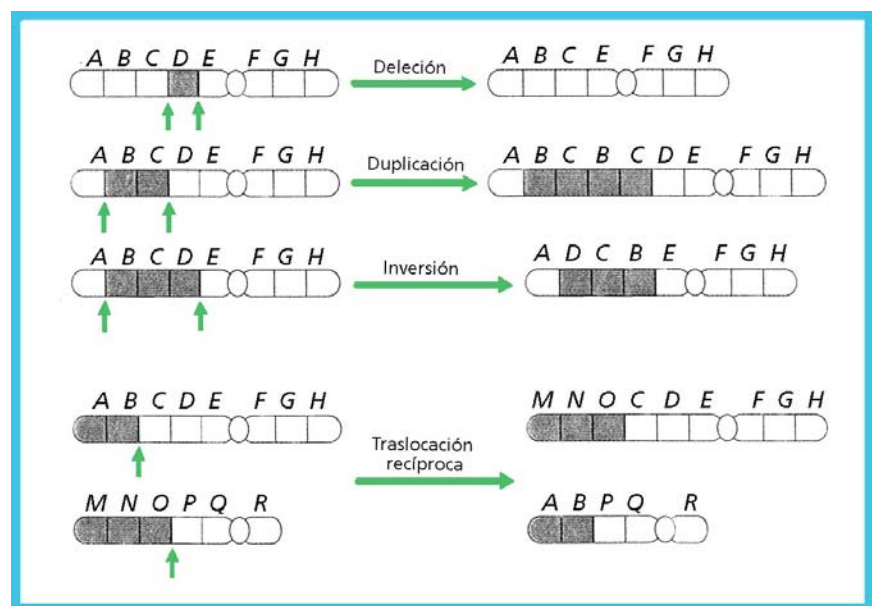
Si un cromosoma se rompe, pueden ocurrir las cuatro posibilidades:

**deleciones:** un segmento cromosómico se pierde;

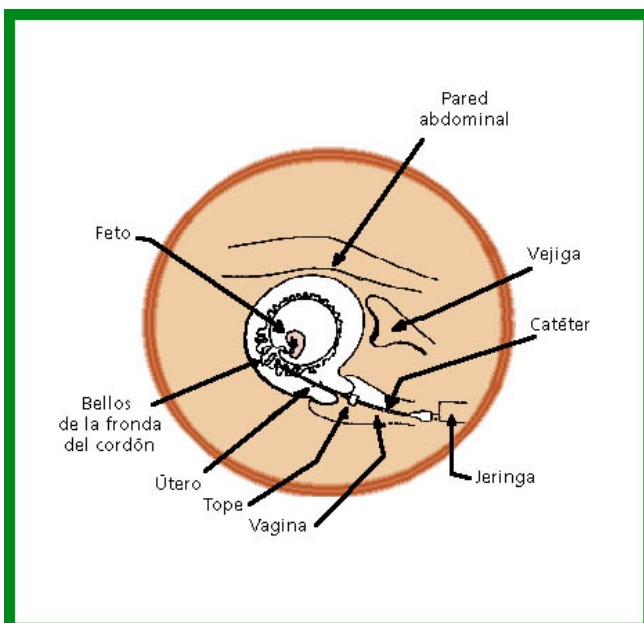
**duplicaciones:** un trozo de cromosoma está repetido una o varias veces en el mismo cromosoma o en otro cromosoma;

**inversiones:** un segmento cromosómico, dentro del mismo cromosoma, está ubicado en una posición invertida;

**translocaciones:** un trozo de cromosoma se ubica en una posición diferente de la normal, ya sea en el mismo cromosoma o en otro cromosoma diferente.



En síntesis, en raras ocasiones, un segmento cromosómico de un cromosoma se pierde, se duplica, se invierte de su lugar o se cambia a una posición diferente dentro del cromosoma. La mayoría de estas aberraciones son perjudiciales y hasta mortales para el individuo que las porta. Habitualmente, provocan esterilidad en los portadores. Sin embargo, son una fuente de variabilidad en las poblaciones y pueden tener un impacto en la evolución, originando variantes cromosómicas que pueden persistir cuando se cruzan entre sí individuos con la misma alteración.





### *Un aporte para el aula*

Lea el siguiente texto:

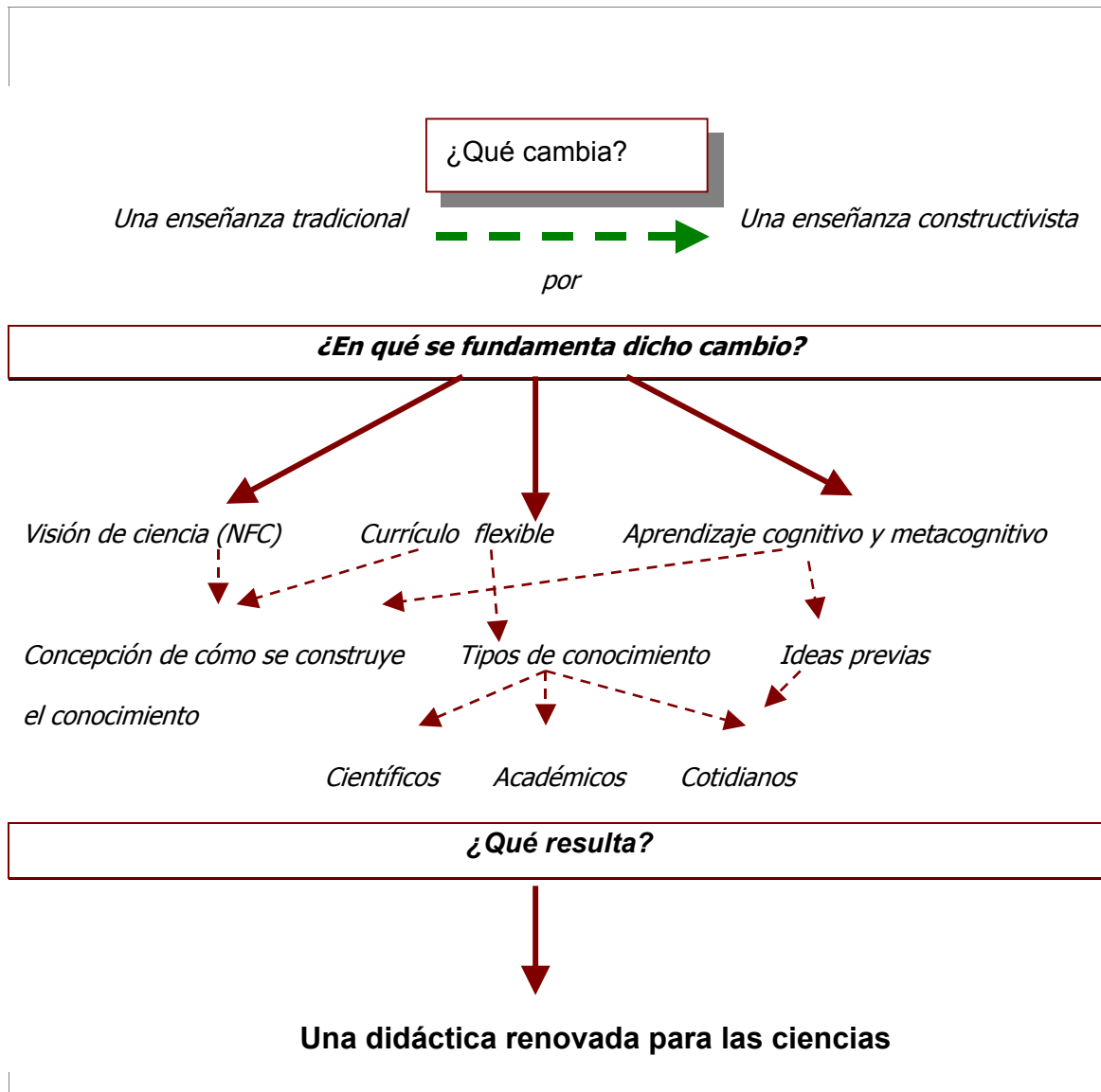
En la actualidad, existen pruebas de diagnóstico prenatal para determinar problemas en el desarrollo del embrión humano que se está gestando. Estas pruebas se pueden realizar recién entre las 14 y 16 semanas de embarazo. La más común es la **amniocentesis**: luego de una ecografía para localizar al embrión, se extrae líquido amniótico. En él, se encuentran células del embrión que se desprenden y permanecen en el líquido por un tiempo. Con ellas se hacen pruebas bioquímicas para detectar la presencia de ciertas enzimas que podrían indicar enfermedades y se elaboran cariotipos para determinar si su composición es normal tanto en número como estructura.

Analice la posibilidad de discutir, con sus alumnos el tema de qué hacer en el caso de que el cariotipo del embrión obtenido por amniocentesis resulte anormal.

## Otras aproximaciones didácticas

### Las ideas previas como punto de partida

Para realizar una integración conceptual desde la didáctica, le proponemos retomar algunos aspectos que fundamentarán las actividades de este capítulo y se relacionan con uno de los modelos analizados al comienzo: el constructivista.



Cómo vimos, el modelo constructivista tiene varios cambios importantes respecto de la enseñanza tradicional por transmisión-recepción. La primera de ellas se refiere a poner de manifiesto las ideas previas de los alumnos, ya que a partir de allí se construirá el conocimiento nuevo. El primer paso es entonces clarificarlas a través de una actividad que las ponga de manifiesto, para luego retomarlas en clase.

A lo largo del capítulo hemos utilizado el término “ideas previas” y le hemos solicitado que las retome en diferentes actividades. En el marco de la didáctica, este término se relaciona con “esquemas conceptuales alternativos”, “ideas intuitivas”, “teorías ingenuas” o “ciencia de los niños”. Por ello es pertinente aclarar algo más sobre este tema.

Todo alumno se enfrenta a un nuevo aprendizaje con un conjunto de aprendizajes previos que se manifiestan en las ideas previas o concepciones construidas en diferentes contextos: en las experiencias cotidianas, en la interacción social con su familia, sus pares y la sociedad en general, y en los aprendizajes de los niveles previos del sistema.

El problema se origina cuando estas ideas son “erróneas”, es decir contradictorias con lo que queremos enseñar. ¿Por qué? Se ha comprobado que están dotadas de coherencia, son comunes a muchos estudiantes, son semejantes a ideas que estuvieron presentes en la historia y no se modifican fácilmente.

Por ejemplo, si bien sabemos que los temas relacionados con mitosis y meiosis son claves para luego comprender la genética, encontramos que en general los alumnos no los comprenden bien durante su paso por el secundario. Así al llegar a la universidad se convierten en una de las dificultades que se registran en los diagnósticos que se toman al ingresar a este nivel. Se han hecho estudios donde se comprueba que no tienen en claro cómo es el proceso de división celular, cómo es que se duplican y separan los cromosomas. Esto probablemente se deba a que no hubo una buena comprensión de conceptos previos claves: célula, ADN, características, duplicación. De esta ausencia de comprensión se derivan la mayoría de las dificultades en el aprendizaje de los temas de mitosis y meiosis, además de los relacionados con ADN, cromosoma y cromátida

Es conveniente entonces, recurrir a distintas estrategias para que los alumnos visualicen cómo se mueven los cromosomas y luego se separan, una buena forma es a través de plastilina simulando cromosomas con distintos colores, de manera que el alumno en cierta forma vivencie el movimiento. También se puede recurrir a dramatizaciones o a videos.

El hecho es que, estos temas tan alejados del espacio próximo del alumno -ya que son a nivel microscópico, y que forman parte de modelos de la ciencia, como el celular o el ADN-, requieren una adecuación a nivel de conocimiento académico para facilitar su comprensión, de lo contrario se convierten en una idea previa errónea para aprendizajes posteriores.

Otro tipo de conocimiento previo erróneo son las relaciones entre conceptos, por ejemplo, es frecuente que los alumnos relacionen mitosis como una forma de reproducción asexual y meiosis con reproducción sexual. ¿Por qué? Efectivamente, ellos han visto que la meiosis ocurre en organismos que se reproducen sexualmente ya que es el mecanismo por el cual, en los animales, se forman las gametas. En tanto la mitosis generalmente la estudian en el contexto de la reproducción asexual en organismos unicelulares.

Se debería ampliar el ámbito de explicación de estos conceptos y enfrentar a los alumnos con una visión alternativa como la de que en nuestro cuerpo constantemente hay células que están dividiéndose por mitosis y no significa que nos estemos reproduciendo asexualmente. Tal vez el problema se plantea cuando el docente enseña mitosis y meiosis como procesos aislados y no dentro de un organismo, como procesos que ocurren incluso en nosotros.

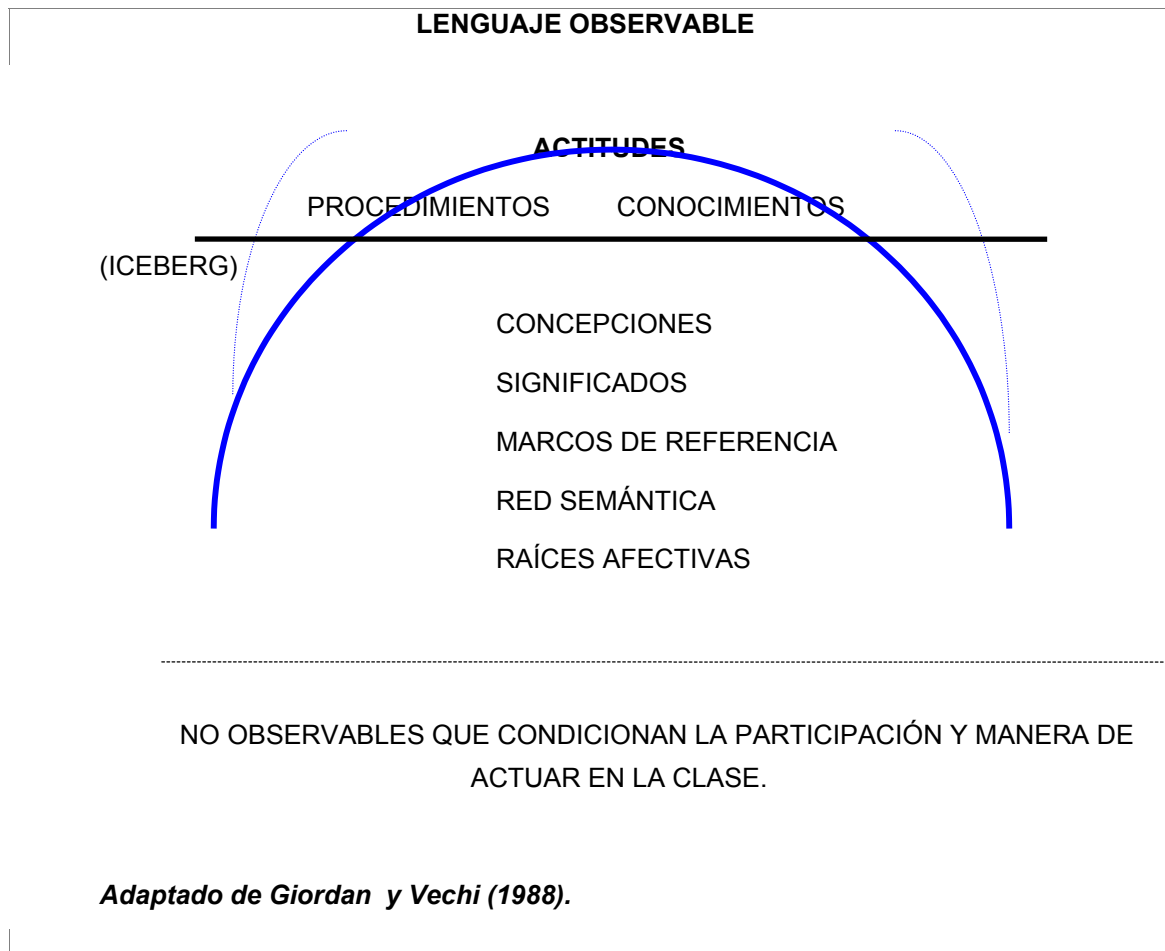
Otro ejemplo asociado a la idea anterior, lo encontramos cuando los alumnos llegan al nivel polimodal con el conocimiento de mitosis a nivel celular pero no integrado al organismo como un mecanismo de reparación de tejidos o de crecimiento, más bien lo relaciona, como vimos, con un tipo de reproducción asexual. Ellos suelen pensar que la mitosis ocurre solo en nivel de la célula, pero no imaginan al conjunto de células que forman el tejido actuando todas juntas.

¿Por qué esta es una idea previa tan importante? Porque es un punto de partida erróneo que tiene que ver con un contexto acotado de aplicación del concepto de división celular.

Podemos decir que los conocimientos básicos para los temas de mitosis y meiosis son:

- célula
- duplicación del ADN.

Cuando damos una clase establecemos un proceso de comunicación que está condicionado por dichas ideas previas. Giordan y Vechi (1988) hacen una analogía entre un “iceberg” de hielo y el “iceberg de los conocimientos”. Este último corresponde al siguiente diagrama donde se representa sobre la línea lo que “se puede ver” en clase, las actitudes, procedimientos y conocimientos. Lo importante es considerar que lo que los alumnos manifiestan está arraigado en sus concepciones, en su red de significados, en los referentes de los códigos que maneja y en las raíces afectivas.



Entonces, comprender cómo aprende el alumno implica:

- Tener en cuenta que hay diferentes puntos de partida, potencialidades, ritmos y capacidades. Uno de esos puntos de partida son las ideas previas.
- Considerar que cuando un alumno da una explicación sobre un hecho o concepto, este forma parte de un modelo, es decir de una red de relaciones en su mente. Esto ocurre tanto a nivel de las explicaciones cotidianas como de las científicas.
- Incluir actividades para retomar aprendizajes previos y su contexto de referencia.
- Facilitar la relación entre lo nuevo y lo que ya se sabe.
- Ir planteando la autonomía en el aprendizaje, ir pasando el control sobre el conocimiento, es decir quitando el andamiaje.
- Asegurar el interés en el contenido y la motivación por aprender. Crear predisposición favorable hacia la comprensión que permita encontrar sentido y significado a lo que se aprende.
- Presentar material con significado lógico.
- Utilizar códigos que formen parte de los referentes del alumno.

### *¿Cómo retomar las ideas previas para construir un conocimiento científico?*

Cuando en las clases enfrentamos a los alumnos con un nuevo conocimiento pretendemos que se apropie de él. En dicho proceso puede haber un desfase entre el modelo explicativo de los alumnos y el que propone el docente en la clase.

Es importante recordar que:

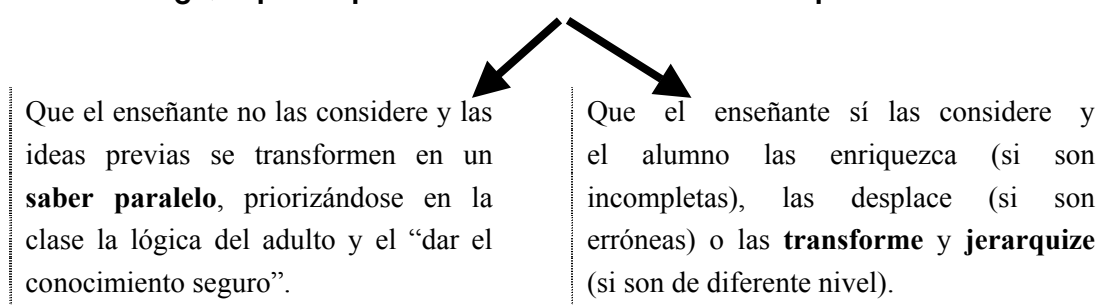
- Es la propia persona la que construye su saber.
- Es ella la que debe encontrarse en una situación que le permita cambiar su representación. Por ejemplo, el docente no lo puede hacer por el alumno, ni el discurso puede actuar sobre ellas, de allí la importancia que el concepto científico que le presentemos sea alternativo al que él posee y si este es erróneo lo haga entrar en conflicto.
- El alumno debe tomar conciencia y “ver” la necesidad de hacer la revisión.
- Junto a la mediación docente, las representaciones son el anclaje del nuevo aprendizaje.
- El docente debe estar preparado para retomarlas sin crear desasosiego y además, proporcionar nueva información y buscar argumentos que permitan su comprensión acabada.

Cuando un docente retoma las ideas previas puede seguir diferentes caminos para hacerlas evolucionar.

1. Refutarlas. Presentarle al alumno una situación que permita entrar en conflicto con su idea (que es errónea). Suelen ser útiles para iniciar un aprendizaje, pero si no se las atiende y da una salida, puede reforzarse el error. Por ejemplo, si el docente saca a la luz la idea de mitosis errónea, a la que hacíamos referencia arriba, y la enfrenta con lo que sucede en los tejidos humanos, solo para corregir el error sin dar una explicación que integre las dos ideas en un concepto de mitosis más amplio.
2. Rectificarlas. Una vez que estas ideas erróneas se ponen en evidencia, se las explora y se rectifica su nivel de formulación. De esta manera, se logra trabajar “con” ellas y no “contra” ellas como es el caso anterior. Por ejemplo, retomando la posible respuesta negativa de los alumnos a la pregunta que decía ¿al encontrar un diente o un cabello puedo saber la carga genética de la persona?, aquí podemos hacer una rectificación en el nivel de comprensión de teoría celular que le impide a los alumnos entender que todas las partes del cuerpo tienen células y en todas hay ADN.

3. Actualmente desde la propuesta constructivista se recomienda jerarquizarlas. Tratar de que el alumno logre, al igual que en los dos casos anteriores, una “reestructuración teórica”, más que un aprendizaje de hechos y conceptos sueltos. Es decir interpretar un contenido en el contexto de una estructura compleja. Pero lo anterior requiere que hagamos “explicitaciones progresivas” de las teorías implícitas. Es decir, una toma de conciencia de las diferencias (estructurales y de concepción) entre las teorías científicas que le proponemos en clase y las propias detectadas en la etapa anterior. ¿Para qué hacer estos dos pasos? Para lograr que el alumno “integre jerárquicamente” lo que sabía con lo nuevo.

### ¿Qué puede pasar en una clase con las ideas previas?



Tanto en las actividades de este capítulo como en el anterior hemos trabajado con las ideas previas generalmente asociadas a conceptos que es necesario revisar antes de abordar un nuevo tema o realizar una actividad. Como ya habrá apreciado, las explicaciones antes dadas no solo se refieren a conceptos sino también a procedimientos y actitudes.

Cuando usted plantea la forma de resolver las actividades seguramente tomó una decisión respecto de qué hacer con dichas ideas previas. A partir de allí, puede reflexionar sobre el modelo de enseñanza que desea implementar.

Lo importante es que la explicitación de las ideas previas no quede solo en el diagnóstico.

## **Enfoque constructivista para los trabajos prácticos de laboratorio**

### *Ideas básicas sobre el modelo de enseñanza por investigación*

En el capítulo 1, al revisar las Nuevas Filosofías de las Ciencias, vimos que se derivaban de ellas propuestas relacionadas con el “hacer ciencia” en el aula, es decir recrear los procedimientos de las investigaciones científicas.

En el comienzo de este capítulo 2 vimos la continuidad de dichas propuestas en el marco del constructivismo. También dijimos que si bien uníamos las nuevas tendencias bajo este nombre eran diferentes las posibilidades a la hora de elegir un modelo de enseñanza.

Uno de ellos es el **modelo de enseñanza por investigación**, en el doble sentido, por un lado provocar investigaciones o indagaciones de los alumnos, a través de una secuencia de actividades y, por el otro, investigar el proceso de enseñanza y aprendizaje que esta estrategia provoca. Nos referiremos a continuación sólo al primer sentido, es decir a describir las actividades que pueden llevar al alumno a recrear un proceso de investigación o indagación guiada.

En términos generales los momentos por los que transita una clase de este tipo son:

- Contacto inicial de los alumnos con el objeto de estudio inserto en un problema a resolver, de interés para los alumnos.
- Expresión de las ideas de los alumnos, intercambio y contraste entre ellas.
- Planificación del trabajo que permite incorporar la nueva información en el contexto del tratamiento científico del problema. Actividades destinadas a delimitar conceptos e hipótesis y buscar estrategias para contrastarlas.
- Análisis y elaboración de los datos e información para recapitular, analizar los resultados, hacer síntesis y comunicar resultados.
- Aplicar lo aprendido en situaciones similares.
- Reflexionar sobre el proceso.

### *Los TP de laboratorio y los modelos de enseñanza por investigación*

Uno de los contextos fundamentales en el que es factible implementar este modelo de enseñanza, es en los **trabajos prácticos de laboratorio**. Normalmente, las

tareas de laboratorio en el contexto escolar persiguen, según Caballer y Oñorbe (1997) los objetivos relacionados con habilidades intelectuales de aplicación; enseñar técnicas de trabajo, manejar con soltura datos, fórmulas y cálculos, manipular materiales o instrumentos de medida, mostrar determinados fenómenos, afianzar conceptos, analizar los factores que intervienen en una situación, despertar la curiosidad, o trabajar con orden y limpieza. Pero indican que a los objetivos anteriores se podrían añadir otros relacionados con los procesos intelectuales:

- La aplicación de conceptos y el desarrollo de procedimientos intelectuales de inferencia, generalización y abstracción.
- La preparación y justificación de investigaciones y emisión de hipótesis argumentadas.
- La reestructuración y acomodación de redes de conceptos de cada persona, que permiten dar significado a lo que aprenden.
- El conocimiento de las ideas previas del alumnado y planteamiento del conflicto entre las ideas personales y los modelos de la ciencia.

Cada situación de enseñanza y de aprendizaje, persigue algunos de los objetivos enunciados más arriba.

### *¿Por qué son importantes los TP de laboratorio como de actividades de aprendizaje?*

Porque ayudan a comprender los planteamientos teóricos y la forma de razonamiento en ciencias, especialmente con el desarrollo de contenidos procedimentales. Pueden incrementar la motivación hacia las ciencias experimentales y favorecer el desarrollo de actitudes como la curiosidad, respeto por las ideas del otro, confianza en las propias ideas, entre otras.

Cuando se opta por realizar una tarea en el laboratorio, es conveniente que sean abordables por las personas a las que van dirigidas, que generen interés, que provoquen un trabajo cooperativo y que favorezcan el desarrollo de destrezas manuales.

## Actividad de integración



### ACTIVIDAD N°9

Usted ha trabajado tres tipos de actividades en este capítulo. En una de ellas partió de datos teóricos, como el número de cromosomas de cada especie. En otra, los datos provienen de un trabajo práctico o experimento de laboratorio. En la tercera, se usaron fotografías que representan datos obtenidos con aparatos a los que comúnmente no puede acceder la escuela: el cariotipo.

No obstante, con las preguntas que le hemos hecho ha podido, en cada caso, pensar en los conocimientos previos que el estudiante, utiliza para participar y avanzar en la realización de dichas actividades. Del mismo modo puede anticipar los contenidos que le permitirían desarrollarlas, así como los objetivos que perseguiría con su realización.

Para hacer un cierre de los aspectos didácticos que comenzáramos a desarrollar en el inicio del capítulo y que ampliáramos al final del mismo, le solicitamos que:

- a) Revise las tres actividades realizadas y las conceptualizaciones teóricas dadas.
- b) A partir de lo anterior fundamente las diferencias entre los objetivos que perseguiría con la realización de cada una de ellas.
- c) Retome el “iceberg del conocimiento” y señale qué elementos observables puede registrar y cuáles no observables pueden influir en la realización de cada actividad.
- d) Delimite qué características del constructivismo en general, del modelo de enseñanza por indagación y de los trabajos prácticos de laboratorio, son factibles de implementar en la realidad que Ud. enseña. Fundamente sus criterios.
- e) Le sugerimos leer y analizar las respuestas al ítem d) que hallan puesto a su disposición en la sección Trabajos, otros cursantes.

Con la realización de esta actividad usted habrá podido retomar lo visto y pensar en las decisiones sobre su posible transferencia a la realidad donde trabaja. No obstante nos atrevemos a insistir que es posible “hacer ciencia en el aula” a pesar de que no siempre contemos con un laboratorio. En capítulos posteriores seguiremos ampliando esta idea y las conceptualizaciones respecto de los modelos de enseñanza.

Damos por finalizado este capítulo y lo invitamos a que, a continuación, resuelva las actividades de autoevaluación para que controle su nivel de comprensión

de los temas desarrollados hasta aquí. Le recordamos que tiene a su disposición en la sección Usuarios los nombres y direcciones de correo electrónico de otros cursantes. Utilice para consultar dudas e intercambiar opiniones con sus pares.

Y como cierre, una frase para pensar...

*Las definiciones cambian en la medida en que el conocimiento aumenta.*

## Actividades de autoevaluación



### ACTIVIDAD N° 1

Integre los aspectos didácticos a través de las respuestas a las siguientes preguntas:

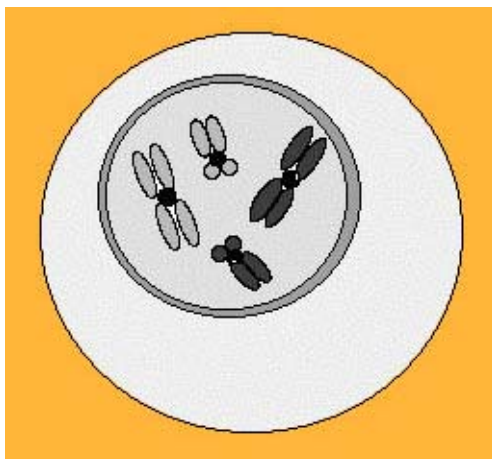
- a) ¿Qué función cumple retomar las ideas previas de los alumnos en un modelo transmisión recepción y en uno constructivista?
- b) ¿Para todo conocimiento habrá ideas previas? ¿Por qué?
- c) ¿Qué tipo de construcción de conocimiento provoca un docente cuando no retoma los aportes del alumno?
- d) ¿Se necesitará siempre de un trabajo práctico para “hacer ciencia en el aula?”



### ACTIVIDAD N° 2

Dada la importancia de comprender adecuadamente los procesos de mitosis y meiosis para luego poder integrarlos al análisis de los ciclos biológicos le solicitamos resuelva las siguientes problemáticas:

- a) Considere un organismo cuyo número diploide es  $2n = 8$  y responda:
  - a.1. ¿Cuántos cromosomas tendrán sus gametas? ¿Por qué?
  - a.2. Si una de las células somáticas sufre mitosis, esquematice la fase de profase.
  - a.3. ¿Qué células de este organismo sufrirán meiosis?
  - a.4. ¿En qué etapa de la meiosis se separan las cromátidas? Esquematice.
- b) Mediante un esquema señale las diferencias entre la anafase I de la meiosis y la anafase de la mitosis
- c) La figura siguiente representa el esquema de una célula que va a dividirse por meiosis.



c.1. ¿Cuál es el número diploide de cromosomas de la célula representada?

c.2. ¿Cuántos pares de cromosomas homólogos y cuántas cromátidas contiene?.

c.3. Represente mediante un esquema el resultado de la formación de un quiasma entre cada pareja de homólogos, la anafase I, la telofase I y la telofase II. Sólo hay que realizar uno de los posibles resultados hasta obtener las cuatro células finales.

d) En un organismo pluricelular, casi todas sus células se dividen en uno u otro momento. ¿Por qué han de dividirse la mayoría de las células de un organismo pluricelular?

e) Como hemos visto los sucesos que ocurren en la meiosis son similares a los de la mitosis, sin embargo hay diferencias notables. Complete el siguiente cuadro que le servirá para encontrar semejanzas y diferencias entre los procesos de mitosis y meiosis.

|                                                                           | MITOSIS | MEIOSIS |
|---------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| ¿En qué células ocurre?                                                   |         |         |
| ¿Cuántas células hijas se forman?                                         |         |         |
| ¿Dónde y cuándo ocurre la duplicación cromosómica?                        |         |         |
| ¿Qué diferencias hay en cuanto al material genético de las células hijas? |         |         |

## Clave para las respuestas de la autoevaluación

Recuerde que lo que ofrecemos aquí son pautas o recursos conceptuales para que usted mismo evalúe el trabajo realizado.



### ACTIVIDAD N° 1

Para la integración de los aspectos didácticos tenemos en cuenta:

En el modelo transmisión recepción, las ideas previas son un diagnóstico para ver qué conoce el alumno. Cumple la función de control. A partir de ellas el docente deja explícito lo que no enseñará y jerarquiza el conocimiento nuevo a enseñar. Es responsabilidad del alumno retomarlas si hay desfase entre lo que ya sabe y lo que se va a enseñar. No son motivo de las estrategias de enseñanza. Suelen constituirse en saberes paralelos. Su consecuencia más importante es que el alumno no encuentra significado a lo que se le enseña.

En el constructivismo son el inicio de la estrategia de enseñanza y motivo de una revisión permanente, tanto por el docente como por el propio aprendiz.

Los logros en el aprendizaje del grupo se miden por la forma en que evolucionen esas ideas previas y se aproximen a las explicaciones científicas. Se habla principalmente de la necesidad de jerarquizarlas.

No, para todo conocimiento no hay ideas previas. Recordemos que este concepto no solo incluye conocimientos previos. Muchos conocimientos son totalmente nuevos para los alumnos. No obstante, a nivel polimodal seguramente hay formas de proceder, actitudes y contenidos ya vistos que son posibles de relacionar con lo nuevo que daremos.

Cuando un docente no retoma los aportes del alumno está guiado por una concepción relacionada con la heteroestructuración de este. Es decir, piensa que él puede ir al aula con toda una secuencia armada e imponerla a la clase. En este contexto el alumno no participa de la construcción, simplemente lo copia. No obstante habrá alumnos que tienen los referentes necesarios para incorporar ese conocimiento nuevo y estrategias de aprendizaje que le posibiliten, al estudiarlo, construir una visión particular. Pero esto no es el motivo de la clase para ese docente, sino que su hipótesis es que si él lo enseña el alumno lo aprende.

No siempre se necesitará de un trabajo práctico para “hacer ciencia en el aula”. Podemos implementar estrategias discursivas que posibiliten vivenciar el razonamiento en ciencias, por ejemplo, como vimos en este capítulo, planteando preguntas que no tengan respuesta inmediata. Como consecuencia estas serán variadas y funcionarán a modo de hipótesis de trabajo, generando búsqueda de datos,

aunque sea a través del análisis bibliográfico. El hecho es que se puede problematizar la enseñanza y no sólo desde la intervención docente dar la respuesta correcta.

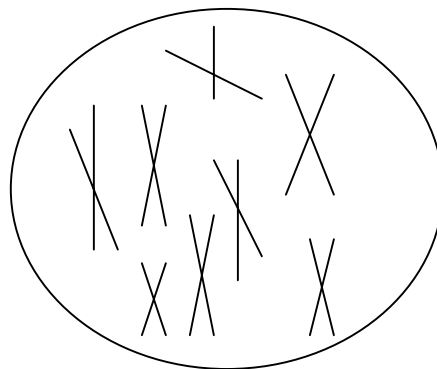


## ACTIVIDAD N° 2

Podemos resolver las siguientes problemáticas de la siguiente manera:

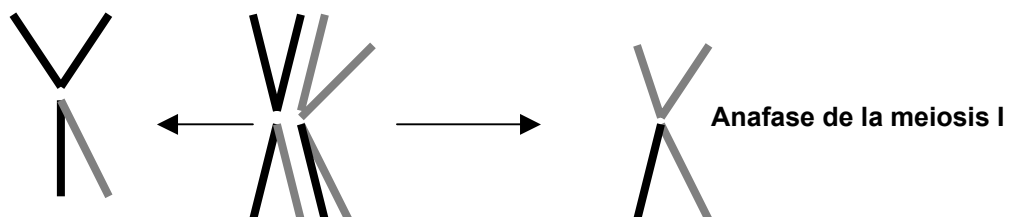
un organismo cuyo número diploide es  $2n = 8$

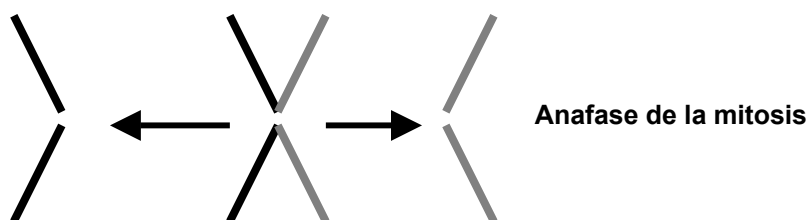
- a.1. Posee 4 cromosomas, porque las gametas por meiosis tienen la mitad del número cromosómico, son haploides.
- a.2. Esquematizamos de la siguiente forma:



- a.3. Sufrirán meiosis, las células que originarán las gametas.
- a.4. Las cromátidas se separan en la anafase de la meiosis II.

El siguiente esquema señala las diferencias entre la anafase I de la meiosis y la anafase de la mitosis.





c) De acuerdo con el esquema de una célula que va a dividirse por meiosis:

c.1. El número diploide es 4, tiene dos pares de cromosomas homólogos y 8 cromátidas.

c.2. Corrobore con las figuras que se hallan en el capítulo 2, contenidos de biología, bajo el título “El número cromosómico y la meiosis” (actividad 2.2.5).

d) En un organismo pluricelular, casi todas sus células se dividen en uno u otro momento. Como hemos visto los sucesos que ocurren en la meiosis son similares a los de la mitosis, sin embargo hay diferencias notables. Especialmente para su crecimiento, formación de estructuras y reparación de tejidos

Completamos las diferencias y semejanzas entre los procesos de mitosis y meiosis:

|                                                                                                           | <b>MITOSIS</b>                           | <b>MEIOSIS</b>                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>¿En qué células ocurre?</b>                                                                            | Células somáticas                        | Células madres de las gametas                                                         |
| <b>¿Cuántas células hijas se forman?</b>                                                                  | Dos células hijas                        | 4 células hijas                                                                       |
| <b>¿Dónde y cuándo ocurre la duplicación cromosómica?</b>                                                 | Interfase                                | Interfase I                                                                           |
| <b>¿Cómo es el material genético de las células hijas en relación con el de las células progenitoras?</b> | Es idéntico al de la célula progenitora. | Es distinto, cada célula hija lleva información recombinada de la célula progenitora. |

## Bibliografía

### Bibliografía didáctica

Benlloch, M., Por un aprendizaje constructivista de las ciencias. Madrid, Visor, 1984.

Caballer, M. J. & Oñorbe, A., *Resolución de problemas y actividades de laboratorio*. En: Del Carmen, L. (coord.), *Cuadernos de formación de profesores*, Barcelona, ICE/HORSORI, 1997.

Campbell, N., *Biology*. California, The Benjamin/Cumming Publishing Co. Inc., 1996.

Carretero, M., *Construir y enseñar las Ciencias Experimentales*. AIQUE, Bs. As., 1996.

De Longhi, A., La construcción del conocimiento un problema de didáctica de las ciencias y de los profesores de ciencia. *Revista de Educación en Biología*, Vol. 3 (1), pp.13-21, Córdoba, 2000.

Gil Pérez, D., Relaciones entre el conocimiento escolar y el conocimiento científico, *Investigación en la Escuela*, N° 23, Sevilla, pp.17-26, 1994.

Giordan, A. y Vecchi, G. *Los Orígenes del Saber; de las concepciones personales a los conceptos científicos*. Sevilla, Diada editorial, 1988.

Glynn, S. M. (comp.), *The Psychology of Learning Science*. New Jersey, LEA, 1991.

Mercer, N., *La construcción guiada del conocimiento*. Bs. As., Paidós, 1997.

Porlan, R., *Constructivismo y Escuela*. Sevilla, Diada, 1993.

Pozo, J. I., *La enseñanza de las Ciencias y el pensamiento causal*. Madrid, Visor, 1990.

Pozo, J.I. Y Gómez Crespo, M.A., *Aprender y enseñar ciencias*. Madrid, Morata, 1998.

Rodrigo, M.J., El hombre de la calle, el científico y el alumno: ¿Un solo constructivismo o tres?, *Investigación en la Escuela*, N° 23, Sevilla, pp.7-16, 1994.

### Bibliografía disciplinar

Ausderik, T., Ausderik, G. & Byers B., *Life on the Earth*. Nueva Jersey, Prentice Hall, 2000.

Castro, R. J., Andel, M. & Rivolta, G. B., *Actualizaciones en Biología*. Bs. As., Eudeba, 1994.

Curtis, H. & Barnes, *Biología*. Bogotá, Ed. Médica Panamericana, 2000.

Solomon, E. P., Berg L. R., Martin, M. W., & Villee, C., *Biología de Villée*. México, 5ª ed. McGraw-Hill-Interamericana, 1998.

Starr, C. & Taggart, R., *Biology, The unity and diversity of Life*. California, 9<sup>th</sup> ed. Wadsworth Publ. Co., 2001.

Villé, C., *Biología*. México, 8va Edición, Interamericana, Mc Graw Hill, 1996.

Ville, C., Solomon, E., Berg, L., & Martin, D., *Biología*. México, Interamericana, Mc Graw- Hill, 1996.

## Capítulo 3: La información genética a nivel de un individuo

### Introducción

*La gallina es el modo que tiene el huevo para asegurar la producción de otro huevo.*

**S. Butler**

Siguiendo con la selección y organización de contenidos propuesta desde el comienzo, en este capítulo tomaremos otro nivel de complejidad para el análisis de la estructura y dinámica de la información genética: el del **individuo**. Anteriormente estudiamos la estructura y dinámica de los ciclos vitales tanto en sus aspectos estables como cambiantes.

Desde la Didáctica, ya trabajamos las características del conocimiento científico, las finalidades del aprendizaje y la enseñanza de las ciencias, el uso de la historia y los modelos de enseñanza. También profundizamos en el modelo por indagación en el contexto del laboratorio, e iniciamos la diferenciación entre conocimientos científicos, cotidianos y académicos, así como el tema de las ideas previas. Todas estas problemáticas serán retomadas en este capítulo 3. Además, aquí analizaremos cómo el conocimiento científico transita diferentes niveles curriculares y se transpone hasta llegar a la situación de clase. También comenzaremos a desarrollar algunos criterios de selección de contenidos y actividades, especialmente la perspectiva relacionada con las aplicaciones tecnológicas de algunos conceptos y su transferencia a la enseñanza.

## **Aproximaciones didácticas**

### **Los componentes de la situación didáctica**

El currículo se ocupa esencialmente de concretar las intenciones educativas (lo que los docentes esperan que los alumnos aprendan), organizar los saberes “a enseñar”, dar sugerencias metodológicas y criterios para la selección y organización de actividades y formas de evaluación.

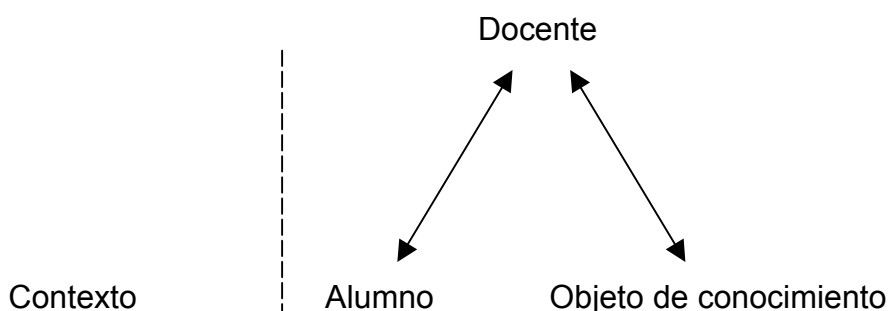
Tomar decisiones respecto de lo que queremos enseñar, y esperamos que el alumno aprenda, requiere comprender la complejidad de la situación de clase y del proceso de transformación del conocimiento científico en conocimiento escolar.

Comenzaremos analizando qué características tiene una clase de Ciencias.

Si usted recuerda cualquier clase con sus alumnos y compara lo que les enseñó con lo que cada uno de ellos manifiesta haber aprendido, estará de acuerdo con nosotros en que el punto inicial que debemos aclarar es que los procesos de enseñanza y aprendizaje no se relacionan “causalmente” sino ontológicamente. Es decir, que aunque un docente enseñe bien, esta no es la única causa por que los alumnos aprenden. No obstante, para que haya alguien que aprenda debe haber alguien que enseñe, esta es la relación ontológica a que nos referimos.

Entender que no es una relación causal contribuye a apartarnos del modelo de transmisión recepción, visto en el capítulo anterior. Si los docentes pensaran que con el solo hecho de informarle correctamente a sus alumnos cómo es la estructura del ADN o cómo ocurre el ciclo celular, ellos podrán incorporar en su estructura cognitiva tal conocimiento, estarían teniendo un razonamiento muy simplista sobre la relación entre enseñar y aprender. El adecuado aprendizaje de un concepto, proceso o actitud, implica, como vimos, la construcción de un significado personal, lo más próximo posible al enseñado. Lo anterior nos exige, como profesionales de la docencia, tener en cuenta múltiples variables.

Es por ello que afirmamos que las situaciones didácticas que se dan en cada clase son complejas y multidimensionales. En ellas se interrelacionan esencialmente docente, alumno y objeto de conocimiento, en un contexto particular.



Tanto el docente como los alumnos participan en la dinámica de la clase con sus capacidades (formación, conocimiento, actitudes, motivaciones), pensamientos (representaciones, intereses) y acciones (formas de participar y hablar). Como vimos en el capítulo anterior muchas son observables y otras no.

El **objeto de conocimiento** se selecciona a partir de un ámbito de la ciencia y luego se organiza desde las decisiones sobre el currículo. Cada materia posee propósitos generales, a partir de los cuales se seleccionan y organizan contenidos (conceptuales, procedimentales y actitudinales), actividades y formas de evaluación.

Cuando hablamos de los **contextos** que condicionan lo que ocurre en la clase nos referimos a tres: el situacional - recursos de que se dispone, lugar, tipo de actividad, etc.-, el lingüístico -códigos que se manejan en el habla de la clase- y el mental -referentes de esos códigos o términos en el marco de las concepciones y conocimientos ya construidos-.

Podemos decir que el aula es como un *sistema* que se define por los elementos que la componen, que se interrelacionan entre sí y están organizados por la estrategia de enseñanza que le da sentido y finalidad a la situación. Según la forma en que ocurran las relaciones habrá un clima particular en cada clase.

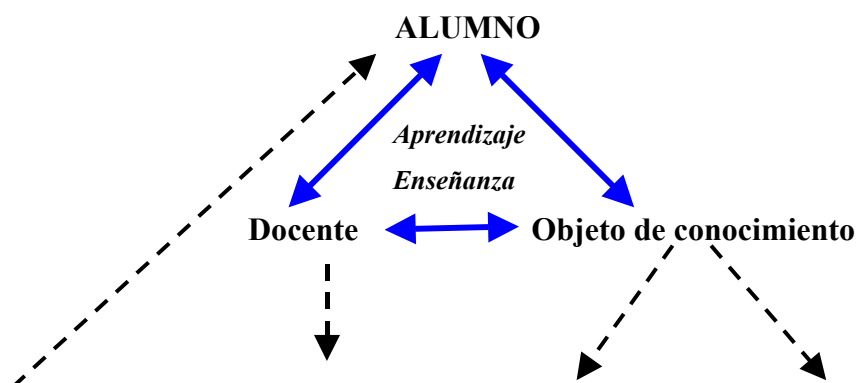
Cada situación es:

- **Asimétrica:** porque docente y alumnos cumplen diferentes roles y tienen diferente relación con el saber. Es el docente el que “sabe antes” y por ello organiza y guía el proceso de aprendizaje. Este concepto se relaciona principalmente con la autoridad académica que dicho docente no debe perder.
- **Intencional:** porque tiene una finalidad relacionada con que el alumno aprenda un concepto, proceso o actitud particular. Toda clase tiene que incorporar “algo nuevo” que enriquezca el saber anterior.

- **Institucionalizada:** porque ocurre dentro de una institución educativa. De allí que deba planificarse con un marco teórico de referencia, cosa que no ocurre en una interacción educativa esporádica como la que se da en un club, en un programa de televisión, en el hogar, etcétera.
- **Compleja y singular:** porque combina un conjunto de variables de forma diferente en cada acto de enseñar. Como usted sabrá, ninguna clase es igual a la otra a pesar de tratarse de los mismos alumnos, del mismo docente y hasta del mismo tema.

Desde esta perspectiva se afianza la idea de la dificultad de pensar en poder recibir una “receta” para enseñar un tema y nos aproximamos más a la postura que sostiene que el diseño de la enseñanza es una “hipótesis de trabajo”.

Ahora podemos ampliar la relación entre los tres tipos de conocimiento en el marco del proceso de enseñanza aprendizaje que ocurre en cada situación didáctica. Para ello le presentamos el siguiente diagrama en el cual se indica con líneas de punto la fuente principal para cada tipo de conocimiento y con líneas enteras las relaciones entre los componentes de la situación didáctica:



### Conocimiento cotidiano → Conocimiento académico

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lo aporta el alumno.</li> <li>• Debe ser diagnosticado.</li> <li>• Pueden ser tomados como las ideas iniciales para el desarrollo de la clase.</li> <li>• Pueden ser erróneos</li> <li>• Forman parte de las explicaciones, no están aislados en las estructuras cognitivas de los alumnos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corresponde a la elección del contenido “a enseñar”.</li> <li>• Incluye el conocimiento realmente “enseñado”.</li> <li>• Implica selección y organización de contenidos y actividades.</li> <li>• Vigilar su lógica requiere un seguimiento del conocimiento construido en la interacción.</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Conocimiento Científico

- Contenidos de biología.
- Visión de ciencia desde los aportes de la nueva filosofía de la ciencia (NFC).
- Historia de la ciencia. sucesión de descubrimientos y ampliación del marco teórico.
- Relación entre los conocimientos científicos, los avances tecnológicos y el contexto social.

### *Los docentes: mediadores fundamentales en el proceso de transformación del conocimiento*

Como ya dijimos, a partir de que el conocimiento científico se produce hasta que lo aprenden nuestros alumnos, son numerosas las comunidades que intervienen en su **transposición**; los científicos, los gestores, las editoriales, los docentes. Pero en cada situación de clase son los docentes el eslabón más importante. Porque ellos son los que toman las decisiones sobre qué enseñar y cómo enseñar determinado contenido.

Si revisamos lo visto en los diferentes capítulos, cuando retomamos desde la historia aportaciones de algunos científicos, veremos que el discurso de los

investigadores se expresa en un lenguaje técnico, guiado por la lógica del descubrimiento, por conjeturas y refutaciones. Si imaginamos una conversación entre ellos veremos que tienen referentes compartidos que les permiten entenderse a partir de términos de un lenguaje más abstracto y elaborado. ¿Podremos hablar así con nuestros alumnos o con nuestros colegas? Seguramente no, porque no es la escuela un ámbito de producción de conocimiento científico, sin embargo, deberíamos retomar las habilidades cognitivo-lingüísticas típicas de la ciencia para recrearlas en nuestras aulas.

El discurso de los científicos se hace público en revistas especializadas y en libros de texto. Es especialmente en estos últimos donde la *lógica se reconstruye*, es decir se rearma para su presentación y para que sea comprendida con facilidad. Allí se toman decisiones provocadas por la selección, secuenciación, organización y establecimiento de relaciones con otros contenidos que lo preceden o lo siguen. Generalmente, no se expresa en dichas publicaciones el camino de idas y vueltas que transita el investigador al trabajar, todo adquiere un orden de complejidad creciente.

En la planificación y ejecución de una situación de clase se retoman dichos textos y el conocimiento científico es re-definido para ser enseñado en la interacción comunicativa con el alumno, surge así lo que llamamos **conocimiento académico**, compuesto por el conocimiento "a enseñar y el enseñado". El conocimiento enseñado, según (Chevallard, 1985), debe mostrarse conforme al conocimiento a enseñar. En su libro *La transposición didáctica* explica cómo el tema del conocimiento se vuelve problemático ya que sufre "desgaste" por el uso que se hace de él. Para el autor, el funcionamiento didáctico del conocimiento es diferente del funcionamiento en el ámbito de la comunidad científica. En el paso de uno a otro ocurre lo que él llama "transposición", hecho que también ocurre entre el conocimiento a enseñar y el enseñado.

Volviendo a la pregunta que nos planteamos relacionada con el rol mediador del docente, principalmente se observa, desde las investigaciones educativas, que los intercambios que se producen en el espacio escolar están dominados por el carácter *evaluativo* que tiene la instrucción. En general el proceso de aprendizaje es guiado por un intercambio "actuación del alumno - calificación del profesor", respecto de cuánto sabe de determinado tema (o cuán igual a lo que él dio o el libro expresa).

Si recuerda algunas clases tradicionales de los temas de genética y evolución podrá encontrar diálogos como los siguientes:

Docente: -¿*Qué son los cromosomas?*

Alumno (responde una definición correctamente): -*Son filamentos donde se encuentran los genes.*

Docente (valora y repregunta): -*Bien, pero ¿qué son los genes, cómo están formados?*

Alumno (responde mal): *-Y, están formados por moléculas de ADN, una molécula de ADN es un gen.*

Docente (corrige y da el concepto): *-En realidad los cromosomas son moléculas de ADN donde se encuentran los genes. Los genes no son moléculas de ADN, sino secuencia de ADN...*

Escapar de esta tendencia implica retomar la idea de **mediación docente** y definir su rol, que tiene que ver con realizar una adecuada transposición y armado de un conocimiento académico que sirva de tránsito hacia el científico.

En el diálogo anterior el alumno aprende respuestas y el docente generalmente pregunta para controlar si las sabe. Pero los docentes pueden llevar a los alumnos a **nuevos niveles de comprensión conceptual** mediante la interacción y la charla con ellos, sirviendo de andamiaje. Por ejemplo, en el caso anterior, retomando la respuesta incorrecta y repreguntando de otra manera o presentándole un nuevo contexto para que el alumno resuelva el malentendido.

Existen diferentes posibilidades metodológicas que se pueden implementar acorde con las decisiones que tome el docente respecto de *dónde cree que se construye el conocimiento válido* (el que debe aprender el alumno):

- fuera de la persona que aprende (es decir que está en los libros o es el que sabe el docente),
- o es el que se construye desde la interacción entre los que intervienen en la clase y retoma los significados personales.

En el primer caso el docente lo impone (como en el modelo transmisión - recepción) y sus intervenciones son para dar o requerir información, para controlar y validar el conocimiento, ya sea el incluido en ellas o en los libros de texto. La actuación de los alumnos se reduce a expresar su conocimiento o repetir textualmente las respuestas ya validadas. De esta manera se cumple un requisito de participación del alumno, pero no se contempla su propia interpretación ni contribuye a una construcción compartida del conocimiento.

Por el contrario, si las intervenciones del docente buscaran indagar la comprensión que el alumno tiene de ese tema y guiarlo hasta la validación correcta o más cercana, en este caso, al conocimiento académico científico, el proceso de interacción sería más fecundo ya que permitiría:

- proporcionar un contexto de significado para la ejecución de las tareas escolares, donde el alumno puede insertar sus actuaciones y construir interpretaciones coherentes;
- adecuar la ayuda o dirección al nivel de competencia de los alumnos;

- evaluar de forma permanente las actividades de los alumnos y
- utilizar la evaluación para lograr el ajuste óptimo de la intervención pedagógica.

Se debería tener en cuenta que el **significado** del contenido no sólo se construye revisando la estructura formal del conocimiento (su lógica, su epistemología), sino también las aplicaciones que hacemos de ese conocimiento a través de los materiales que proponemos, las tareas y las interacciones docente-alumno que provocamos.

Tenemos ahora más detalles para entender por qué en estos momentos en enseñanza de las ciencias, existe acuerdo respecto de romper con los modelos de transmisión-recepción, volcarse a la búsqueda de estrategias que provoquen reconstrucción conceptual y conferirle al docente un rol de guía en la realización de la tarea en el aula, un vigilante “epistemológico” del conocimiento que en ella se construye y legitima y un agente social “mediador” entre la cultura, el objeto de conocimiento y los significados personales que se logran.

## **El currículo y sus niveles de concreción**

### *Los cambios en el currículo propuestos por la última reforma educativa ¿Cómo se integran al proceso de mediación y transposición?*

Como usted sabrá, desde 1993 la Argentina comienza un proceso de transformación con la sanción de la Ley Federal de Educación (Nº 21.195). A partir de este marco normativo se producen una serie de cambios relacionados principalmente con la estructura del sistema, los diseños curriculares y la formación docente. Cambian los niveles, el período de escolaridad obligatoria, las funciones de la escuela y los contenidos del currículo.

Estos cambios se fundamentan en una visión diferente de escuela, la cual debe, principalmente, brindar una formación amplia y “comprensiva”, elaborar proyectos institucionales centrados en la problemática regional y vincularse con el mundo del trabajo, elegir una modalidad y seleccionar los contenidos orientados.

Se prevé que el alumno desarrolle “competencias”, -conjunto de capacidades, habilidades, destrezas y conocimientos, valores y actitudes que le permitan aprender autónomamente, actuar y tomar decisiones-, y que adquiera los saberes básicos para la vida en sociedad y un aprendizaje centrado en la calidad.

Al docente se lo concibe con un nuevo rol profesional, relacionado con la formación permanente, en nuevas metodologías de enseñanza y de aprendizaje, y en temas de gestión.

En este contexto los contenidos de ciencias, como de otras disciplinas, han sufrido un proceso de selección y organización relacionado con los diferentes **niveles de concreción del currículo**.

Dichos niveles pasan por diseños nacionales, provinciales, institucionales, de ciclo, área y finalmente disciplina. El objeto de conocimiento, en nuestro caso biología, forma parte de un curriculum dinámico y abierto, integra contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales, como así también se lo organiza desde problemáticas transversales (y a veces interdisciplinarias) como las de salud, relación ciencia-técnica-sociedad (CTS) y educación ambiental. En este capítulo veremos temas que pueden formar parte de algunas de estas problemáticas y ampliaremos la información sobre ellas.

De esta forma, el currículo que usted enseña ha tenido previamente diferentes niveles de concreción en función de la descentralización educativa y en el marco más global de la transposición del conocimiento científico al conocimiento aprendido.

La situación hasta ahora planteada la representamos sintéticamente en el siguiente esquema:

## Transposición del conocimiento y niveles de concreción del currículo

### CULTURA y SOCIEDAD:

Comunidad Científica = Conocimiento Científico

Discurso de los investigadores. Conocimiento con historia, personalidad y contexto.

**TEXTOS:** científicos, para formación docente, manuales, etc.

Discurso de los textos. Conocimiento que en general pierde su historia, personalidad y contexto (de su producción original).

**DISEÑO:** nacionales, provinciales, institucionales

#### MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

*Propuesta de contenidos básicos comunes (CBC) para la educación general básica y la educación polimodal. Bloques de contenidos (conceptuales, procedimentales y actitudinales), propuestas de alcance y expectativas de logro.*

#### MINISTERIOS DE CULTURA Y EDUCACIÓN PROVINCIALES

*Elaboración de diseños jurisdiccionales con bloques de contenidos (conceptuales, procedimentales y actitudinales) y expectativas de logro, selección y organización de espacios curriculares y distribución horaria, propuestas metodológicas y de diseño.*

#### INSTITUCIÓN EDUCATIVA

##### Proyecto educativo institucional

Elección de modalidad (FGF y FO), selección y organización de contenido por espacio curricular (materia-seminario-taller) y en función de un proyecto integrador (PEI).

Comunidad docente = diseño del conocimiento académico

##### Materia. Proyecto didáctico (Biología)

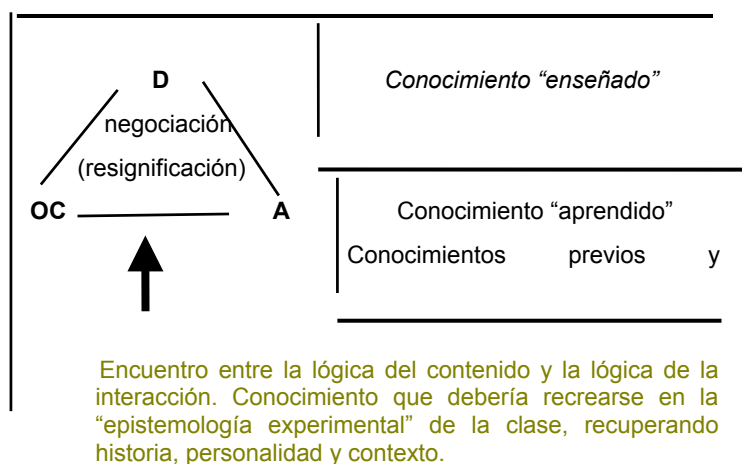
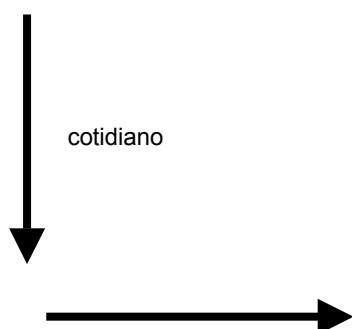
Objetivos, contenidos, actividades, metodología, evaluación en unidades didácticas (UD).

#### SITUACIÓN DIDÁCTICA

#### VIGILANCIA

#### EPISTEMOLÓGICA

Comunidad docente = Conocimiento "a enseñar"



Más adelante, en este mismo módulo, en el capítulo 4, desarrollaremos el tema de Unidad didáctica y los criterios de selección y organización de sus diferentes elementos. No obstante, ahora nos queda por aclarar que todo contenido científico tiene una lógica que muchas veces se modifica incorrectamente al desarrollarse en la interacción de la clase. Nos referimos al encuentro entre la lógica del contenido y la lógica de la interacción.

Pero ahora, un elemento que presenta el esquema síntesis anterior, y que deseamos aclarar, es el que se refiere a la necesidad de que el conocimiento científico sea el que “vigile” (vigilancia epistemológica) lo que ocurre en la clase. Si ésta se orienta a construir el conocimiento tratando de “hacer ciencia”, seguramente se organizarán actividades que, como dicen los especialistas, permiten que el conocimiento vuelva a adquirir contexto, personalidad e historia. Hemos iniciado la ejemplificación de situaciones como la anterior al recuperar la historia, en el primer capítulo, y con los trabajos prácticos de laboratorio, en el segundo. Pero esta expresión “hacer ciencia” no solo tiene que ver con las actividades sino también con la secuenciación lógica de los contenidos.

Dentro del marco institucional usted, como docente, seguramente ha participado de la elaboración de Proyecto Educativo Institucional (**PEI**) y del Diseño del Currículo (**DC**) de diferentes espacios como área, materias, talleres o seminarios.

Como sabrá, la realización del PEI pone de manifiesto la autonomía institucional, exige ver la institución escuela en forma integral, propone una planificación de acciones en la que son protagonistas todos los miembros de la comunidad educativa y una identificación de prioridades. Ante la sociedad el PEI se convierte en una oferta educativa específica.

Si pensáramos, por ejemplo, que queremos cambiar la modalidad de enseñanza en la escuela en que trabajamos para aproximarnos desde las diferentes áreas a propuestas más constructivistas, ya que estas permitirían que el alumno “aprenda a aprender”, este sería el problema a resolver por el PEI y el cambio a provocar desde su DC. Tendríamos entonces que construir una “imagen objetivo” de la escuela que deseamos. Esta meta guiaría acciones a corto, mediano y largo plazo que requerirían de un seguimiento para observar su desarrollo y realizar las modificaciones necesarias.

Pero este cambio general en la institución se operacionaliza en un conjunto de acciones, por ejemplo las relacionadas con repensar los espacios curriculares y el tratamiento de los contenidos en el interior de cada uno de ellos.

De esta forma llegamos al espacio específico que usted coordina, el aula de biología. Nuestra disciplina como cualquier otra de la escuela es un elemento en el sistema y las decisiones que tomemos deben estar contextualizadas en el PEI y coordinadas principalmente con los otros docentes de ciencias. No podríamos generar

el cambio a nivel institucional si no es un proyecto de equipo. Este compromiso es ineludible.

El modelo curricular que subyace a la reforma pretende tener una función orientadora y garantizar la adquisición de contenidos educativos básicos y socialmente relevantes, por ejemplo los relacionados con genética y evolución. Como podemos ver en el esquema síntesis anterior, los mismos se han establecido desde tres niveles de concreción: el primero a nivel país y provincia (CBC nacionales y a los Diseños Jurisdiccionales), el segundo a nivel de escuelas (PEI y DC) y el tercero a nivel de los docentes.

Desde las investigaciones en didáctica se ha visto que la opción anterior conlleva riesgos ya que se trata de alcanzar un difícil equilibrio entre: los grados de prescripción (lo que se debe hacer, lo que debemos dar, etc.), los grados de apertura (el pedido de autonomía, de flexibilidad curricular, de atención a la diversidad de alumnos, etc.), y la imposibilidad de satisfacer a todos los sectores sociales y profesionales (por ejemplo los padres, los alumnos y los docentes de la escuela). Junto a lo anterior hay que señalar la falta de tradición en el modelo (de tener una escuela autónoma, de hacer un PEI y DC en equipo, de hacer su seguimiento, etc.), la poca familiarización con el mismo por parte del profesorado y las nuevas capacidades profesionales requeridas para su utilización. Nos estamos refiriendo específicamente a las nuevas exigencias que trae aparejada la implementación de un cambio global como es el de la reforma y para el cual no estamos totalmente preparados.

Justamente este curso trata de darle algunos elementos para afrontar el diseño, la implementación y el seguimiento de un currículo de genética y evolución, que usted podrá analizar de qué forma lo concreta, acorde con la institución donde trabaje.

Este protagonismo que han adquirido los docentes les exige tomar **en equipo** un conjunto de decisiones que sintetizamos en las siguientes preguntas. Estas no tienen un orden de respuesta fijo, pero sí cubren el espectro a tener en cuenta en el DC:

- **¿Qué enseñar?** Determinar qué objetivos guían cada etapa y ver qué seleccionamos en cada una. Para nuestro caso el nivel es polimodal. Dentro de él debemos ver cuál es el área en que trabajaremos y dentro de ella cuál es el espacio curricular propio. (¿Qué dará de genética y evolución en la biología de esta escuela con determinada finalidad para el área de naturales, orientación, PEI y DC?).
- **¿Cuándo enseñarlo?** Distribuir y secuenciar dichos objetivos en los diferentes momentos del ciclo (¿Qué introducción a la genética y evolución se dará en el tercer ciclo para poder profundizar los aspectos moleculares en el polimodal).
- **¿Cómo enseñarlo?** ¿Qué opciones metodológicas emplearemos para el tratamiento de los contenidos? ¿Qué recursos y materiales usaremos y cómo

organizaremos el espacio y los tiempos? (¿Tomaremos como eje la evolución, la historia de las ciencias, el abordaje interdisciplinar, la investigación guiada, la transferencia tecnológica, cuál?).

- **¿Qué, cómo y cuándo evaluar?** Se incluyen aquí todos los criterios de evaluación tanto de los aprendizajes como de los diseños y su aplicación. En general se analiza también la forma en que se va progresando de un año a otro y de un ciclo a otro (¿Cómo revisar si lo que diseñé e implementé resulta bueno para el aprendizaje de los temas que desarrollé, para preparar a los alumnos con relación a la materia siguiente, para completar el perfil del alumno de esta orientación definido en el PEI?).

Si retomamos los objetivos para el nivel polimodal y para Ciencias Naturales en particular y los analizamos a la luz de las preguntas anteriores veremos que algunas respuestas son:

*¿Qué enseñar?* Tanto los desarrollos científicos (teorías y modelos) como los tecnológicos. Su relación con las problemáticas de salud y ambiente. Por ello se suman a los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales de genética y evolución básicos, los nuevos como biotecnología, ingeniería genética, alimentos transgénicos, clonación, entre otros.

*¿Cuándo enseñarlo?* Si bien se presentan en el tercer ciclo estos temas de genética y evolución son específicos del nivel polimodal. Profundizándolos cuando la especialidad es Ciencias Naturales.

*¿Cómo enseñarlo?* Se sugieren desde los contenidos procedimentales metodologías relacionadas con el trabajo científico, la resolución de problemas, el análisis e interpretación de la información.

*¿Qué, cómo y cuándo evaluar?* Subyace la idea de una evaluación permanente de conceptos, procesos y actitudes.

## Contenidos de biología

### La reproducción

#### *Generalidades*

En un intento por dar respuesta a las preguntas que nos plantea un diseño curricular, que se analizaron anteriormente (3.1.2), ahora seguiremos con el desarrollo de los temas de biología. Desde esta perspectiva, responder al qué enseñar implica un abordaje inicial que a modo anticipador ofrezca una mirada global de los grandes ejes conceptuales a fin de ubicarnos contextualmente en el tema. Esto se puede realizar a través de diferentes estrategias: mediante diagramas de ubicación de la temática, de interrogantes claves que guían la lógica disciplinar o también con una breve síntesis incentivadora que sirve de sincretismo inicial.

Con este capítulo (3) terminaremos de responder la primera pregunta de nuestro programa: “¿Cuál es la estructura y la dinámica de la información genética a nivel molecular, celular y de un individuo completo?”. Por lo tanto, en este nivel se integran los dos anteriores, los que, a nuestro juicio, constituyen un conocimiento previo necesario. En este capítulo los contenidos biológicos responderán a los siguientes interrogantes y reflexiones: ¿cómo se reproduce un organismo?; ¿dónde ocurre la fecundación?; ¿reproducción asexual o reproducción sexual?; ¿la clonación es un método de reproducción asexual?

Estos interrogantes funcionan como organizadores de esta parte del material que le presentamos. Todas estas cuestiones planteadas nos incitan a pensar que, la supervivencia de cada especie depende de que sus miembros produzcan nuevos individuos, de este modo se repondrán los que se mueren. Uno de los aspectos más importantes de los seres vivos es justamente su capacidad de **autorreproducirse**. A todo organismo le llega el momento en el que su metabolismo y su crecimiento son insuficientes para mantenerse. El ataque de depredadores, la acción de parásitos, las épocas de hambre u otros cambios dañinos del ambiente, o simplemente aquellos procesos no bien definidos que denominamos envejecimiento, llevan inevitablemente a la muerte del organismo.

Sin embargo, la especie permanece por un período de tiempo mayor que el período de vida de cualquiera de sus integrantes. Esto se logra mediante la producción de nuevos organismos por parte de los individuos maduros antes de que estos mueran. Por esto, si bien la reproducción no es una función vital para el organismo, sí lo es para la especie. Si la mayoría de los organismos de una especie no se reprodujeran, esta desaparecería...

A lo largo de millones de años se han desarrollado diversos procedimientos mediante los cuales los organismos tienden a perpetuar la especie a la que pertenecen. Más allá de la estrategia reproductiva, todos cumplen un **ciclo biológico o ciclo vital** con una serie de acontecimientos a lo largo de su vida, desde la producción de las estructuras reproductivas con las que se inicia, hasta el momento en que alcanza su propia madurez y están en condiciones de producir nuevas estructuras reproductoras. La evolución de los distintos tipos de reproducción y ciclos vitales serán los temas que abordaremos en la biología de este capítulo.

### *¿Cómo se reproducen los organismos? Los tipos de reproducción*

El proceso por el cual uno o dos organismos forman un nuevo individuo, se lo denomina **reproducción**. El proceso y las estrategias varían mucho según las especies, pero básicamente podemos distinguir dos modos diferentes de producir un nuevo organismo. Uno de estos modos es la **reproducción sexual**; esto es, la reproducción de nuevos individuos en los cuales se combina la información genética de células diferentes, generalmente provenientes, a su vez, de dos progenitores distintos. En la mayoría de los organismos, como veremos más adelante, estas células son las gametas. En el otro modo de reproducción toma parte solamente un progenitor, y es la **reproducción asexual**. Veamos más detalles...

#### *Reproducción Asexual*

Consiste en la formación de nuevos individuos a partir de un solo progenitor, lo cual significa que los descendientes son genéticamente idénticos a él. Es común en los organismos unicelulares, plantas y animales de organización simple. Como recordará, existen diversas formas de reproducción asexual:

**Fisión binaria:** es la forma más generalizada de reproducción asexual entre los organismos procariotas. La célula se divide en dos partes aproximadamente iguales. Cada una de estas crece hasta alcanzar el tamaño completo y el proceso puede renovarse. Tal es el caso de las bacterias, que bajo condiciones ideales, pueden reproducirse por fisión cada veinte o treinta minutos. Esto explica por qué con la entrada de unas pocas bacterias patógenas en un individuo, pueden manifestarse rápidamente los síntomas de una enfermedad. Recuerde cuando vimos en el capítulo anterior la división celular en procariotas.

**Mitosis:** en eucariota unicelulares como euglenas, amebas, paramecios, etcétera. La forma más usual de reproducirse asexualmente es por mitosis.

**Gemación:** en este caso, una pequeña parte del organismo progenitor crece, por mitosis sucesivas, a modo de brote o yema hasta que se separa formando un nuevo organismo. Estas yemas son de menor tamaño que los organismos progenitores.

Ejemplos de este tipo de reproducción lo encontramos en las levaduras, en las hidras y en los poríferos.

**Fragmentación:** en algunas plantas y animales el cuerpo del organismo se fragmenta en varias partes; cada una de ellas puede luego regenerar todas las estructuras del organismo adulto.

Por lo general, el proceso de fragmentación depende de factores externos. Las algas pardas y verdes de las costas marinas se rompen a menudo en pedazos debido a la acción de las olas. Cada fragmento puede crecer hasta alcanzar el tamaño completo. También en el agua dulce las algas frecuentemente se rompen y los fragmentos producen nuevos organismos completos.

Entre los animales, particularmente en los gusanos planos ocurre algo similar. Una vez que el gusano completa el crecimiento, se rompe en ocho o nueve fragmentos, cada uno de los cuales desarrolla luego un gusano adulto que repite el proceso. También es común en salamandras, lagartijas, estrellas de mar y cangrejos que pueden regenerar alguna parte faltante y formar un animal completo. Por ejemplo, una estrella de mar puede **regenerar** un individuo completo a partir de un solo brazo. En organismos como estos, el proceso de regeneración está asociado con la reproducción asexual del mismo. Pero **no siempre significa que la regeneración sea una forma de reproducirse.**

La capacidad de regeneración, en muchos organismos es limitada. Así en las salamandras se puede regenerar una extremidad completa, pero una pata no puede regenerar una salamandra completa. En el ser humano, en cierta forma también hay regeneración, por ejemplo en el proceso de cicatrización o la reconstitución de ciertos tejidos y órganos, sin embargo nada tienen que ver con la reproducción del individuo.

En los vegetales es común hablar de **multiplicación vegetativa**, que se refiere a la formación de un nuevo individuo a partir de cualquier estructura vegetativa de la planta (raíz, tallo u hoja). Los jardineros se valen de manera deliberada de la multiplicación vegetativa para reproducir asexualmente variedades de plantas. Esto se hace mediante estacas. Si la operación se hace con cuidado, las estacas desarrollan raíces y hojas, es decir se completan individuos que pueden continuar existiendo independientemente.

**Esporulación:** en los hongos y ciertas plantas, la reproducción asexual se efectúa por la formación de **esporas**. Estas son células (contienen un núcleo y una pequeña porción de citoplasma). Funcionan como agentes de dispersión que hacen posible la propagación del organismo en nuevos lugares. Las esporas de los organismos terrestres son, por lo general, muy livianas y poseen una pared protectora, estas características resultan útiles para ser transportadas a grandes distancias por medio de corrientes de aire.

La cubierta resistente de la espora desempeña a menudo otra función: protege la vida de esa célula que suele mantenerse latente en períodos de condiciones ambientales desfavorables, esas condiciones serían fatales para el organismo en un proceso de crecimiento vegetativo activo. No es sorprendente que este tipo de esporas se produzcan más rápidamente cuando las condiciones de temperatura, humedad o alimentación se tornan desfavorables.

Los hongos producen esporas en abundancia. Si se deja un pedazo de pan húmedo en un lugar tibio, húmedo, oscuro y expuesto a las corrientes del aire se desarrolla un micelio abundante que muestra cuan amplia es la distribución de las esporas del hongo conocido como “moho del pan”.

**Apomixis:** es la formación de un embrión sin que medien procesos sexuales. Si el embrión se forma a partir de una gameta femenina no fecundada, el fenómeno se denomina **partenogénesis**, si proviene de una célula no sexual, el proceso recibe el nombre de **apogamia**. Por ejemplo en algunas plantas se originan embriones a partir de alguna de las células del saco embrionario que no son la gameta femenina.

Se considera una forma de reproducción asexual porque no hay fusión de gametas y el organismo resultante es genéticamente idéntico al progenitor original.

La partenogénesis es común en moluscos, crustáceos e insectos. Probablemente el ejemplo más conocido es el de abejas y avispa. En la abeja doméstica, la reina copula una única vez y los espermatozoides son guardados en una bolsa o saco. Cuando la hembra va a poner huevos, puede abrir la válvula de este saco con espermatozoides de manera que a medida que el óvulo pasa es fecundado, o puede dejarlo cerrado y los óvulos pasan sin ser fecundados. Los huevos fecundados se convierten en hembras (reinas y obreras) y los no fecundados en machos (zánganos).

Cuando las condiciones del medio son adecuadas, por ejemplo, abundante alimento, la pulga de agua *Daphnia*, se reproduce partenogenéticamente.

### *Reproducción sexual*

Como recordará, la reproducción sexual se caracteriza porque se produce de la unión de dos células especializadas, las gametas generalmente provenientes de distintos organismos. Es esta unión la que origina un nuevo ser vivo. La fusión de los núcleos procedentes de las células sexuales da como resultado una nueva y única combinación genética. De este modo la reproducción sexual permite un elevado número de combinaciones de las características de los seres vivos.

Las gametas se originan mediante la **meiosis**, proceso que aporta aun más variación genética, como ya lo ha visto en el capítulo 2.

Puesto que cada gameta o gameto es haploide, la fusión de dos gametos da por resultado una célula diploide. Este proceso se denomina **fecundación**.

El proceso de formación de gametas o **gametogénesis** tiene lugar en estructuras especializadas, llamadas **gónadas** en animales y **gametangios** en vegetales

En algunas especies, las gametas son células muy similares entre sí, sin embargo en la mayoría de las plantas y animales de organización compleja son bastante diferentes.

En general, las diferencias de la estructura celular entre las gametas femeninas y masculinas se dan a nivel de sus dimensiones y movilidad y están en relación con las distintas funciones que cumple cada tipo. Como usted seguramente recordará, los nombres de las gametas son ligeramente distintos para plantas y animales, aunque las funciones sean básicamente las mismas.



### *Un aporte para el aula*

El razonamiento comparativo y clasificatorio es usado con frecuencia en el aprendizaje de la biología, ya que ayuda a organizar la diversidad de formas y funciones a partir de un patrón común. En este caso la reproducción sexual.

El análisis siguiente permitirá que sus alumnos relacionen dos ideas mediante una comparación: la relación estructura – función y la unidad de patrones en las gametas a través de la comparación.

La consigna es completar un cuadro teniendo en cuenta las respuestas a dos interrogantes.

- ¿Cuáles son las características propias de cada tipo de gameta que aparece en el cuadro?
- ¿Qué función le permite cumplir cada característica a la gameta?

| Organismo/Sexo              | Gametas            | Estructura              | Función |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------|---------|
|                             |                    | Dimensiones y movilidad |         |
| Animal/Masculino            | Espermatozoides    |                         |         |
| Musgos-Helechos/Masculino   | Anterozoides       |                         |         |
| Planta con flores/Masculino | Núcleo espermático |                         |         |
| Animal/Femenino             | Óvulos             |                         |         |
| Musgos-Helechos/Femenino    | Oosferas           |                         |         |
| Plantas con flores/Femenino | Ovocélula          |                         |         |

Este tipo de análisis, si se quiere estático, tiene sentido llevarlo al aula porque es la etapa inicial de un estudio completo de la naturaleza. Una forma de establecer las etapas de dicho estudio sería: inicialmente identificar en la diversidad las **semejanzas y diferencias**, luego encontrar los **patrones** que permiten su clasificación, desde aquí apreciar que ningún organismo está solo sino que vive en **interrelaciones e interdependencias**. Finalmente si lo ubicamos en un proceso temporal veremos que las estructuras, funciones y comportamientos van **cambiando**, conformando por ejemplo los ciclos. La dinámica del paso del tiempo muestra que hay cosas que **continúan y otras que no**, en función de un proceso de evolución. Como veremos en el segundo módulo del curso, a través de la evolución, podremos comprender aún más estos cambios reflejados en las diferencias entre las gametas.

Como ya vimos en el capítulo 2, la meiosis y la fecundación son los dos procesos que caracterizan y distinguen a la reproducción sexual de la asexual.

En los seres humanos y otros animales la meiosis o producción de gametas está ligado a procesos más complejos denominados ovogénesis y espermatogénesis, aunque estos son procesos ya conocidos por usted, nos parece apropiado recordar que:

- La ovogénesis en la mujer, es un proceso discontinuo, se detiene durante el desarrollo embrionario en la primera división meiótica y se reinicia durante la pubertad. La distribución de citoplasma entre las células resultantes es desigual formándose por cada ovocito primario sólo un óvulo.
- La espermatogénesis en el hombre, es un proceso continuo, donde por cada espermatocito primario forman cuatro espermatozoides. Se distinguen dos etapas, la meiótica por la cual se forman cuatro espermátidas haploides, y una etapa donde ocurren procesos de transformación y reorganización celular, o espermiogénesis a partir de la cual se forman, por cada espermátida cuatro espermatozoides.

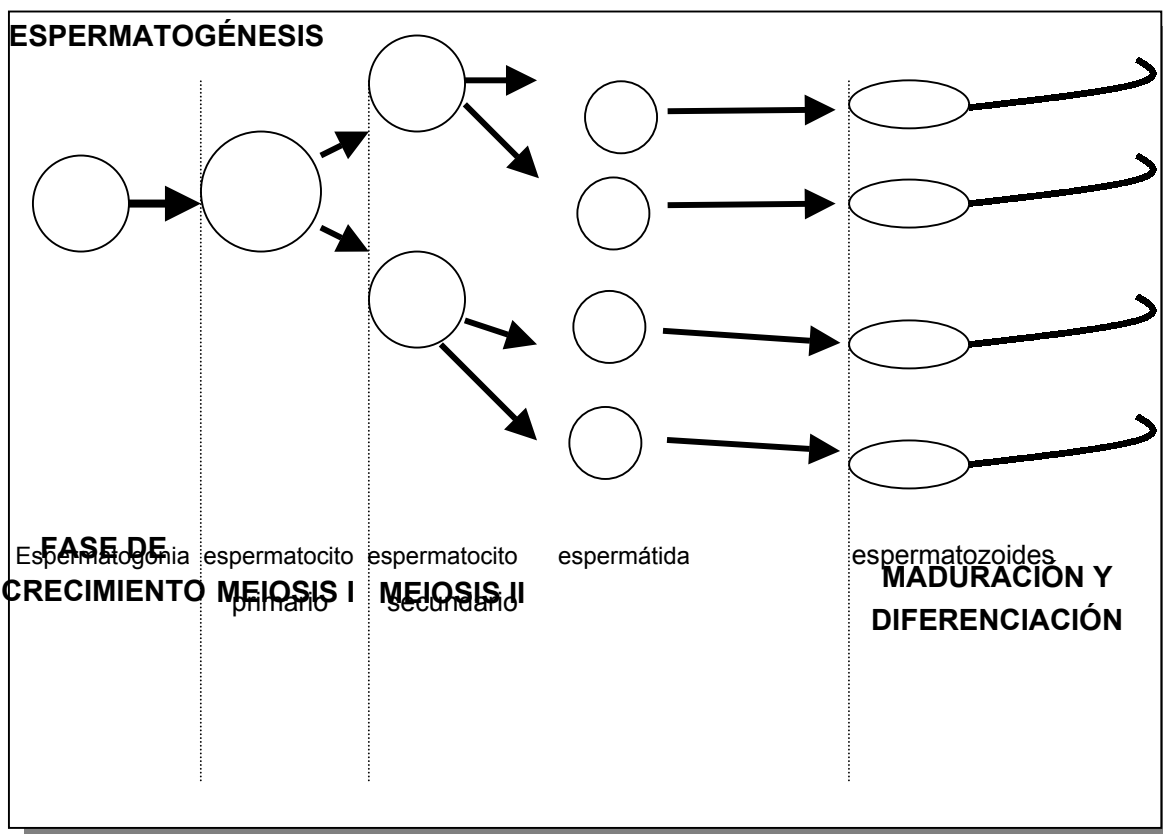


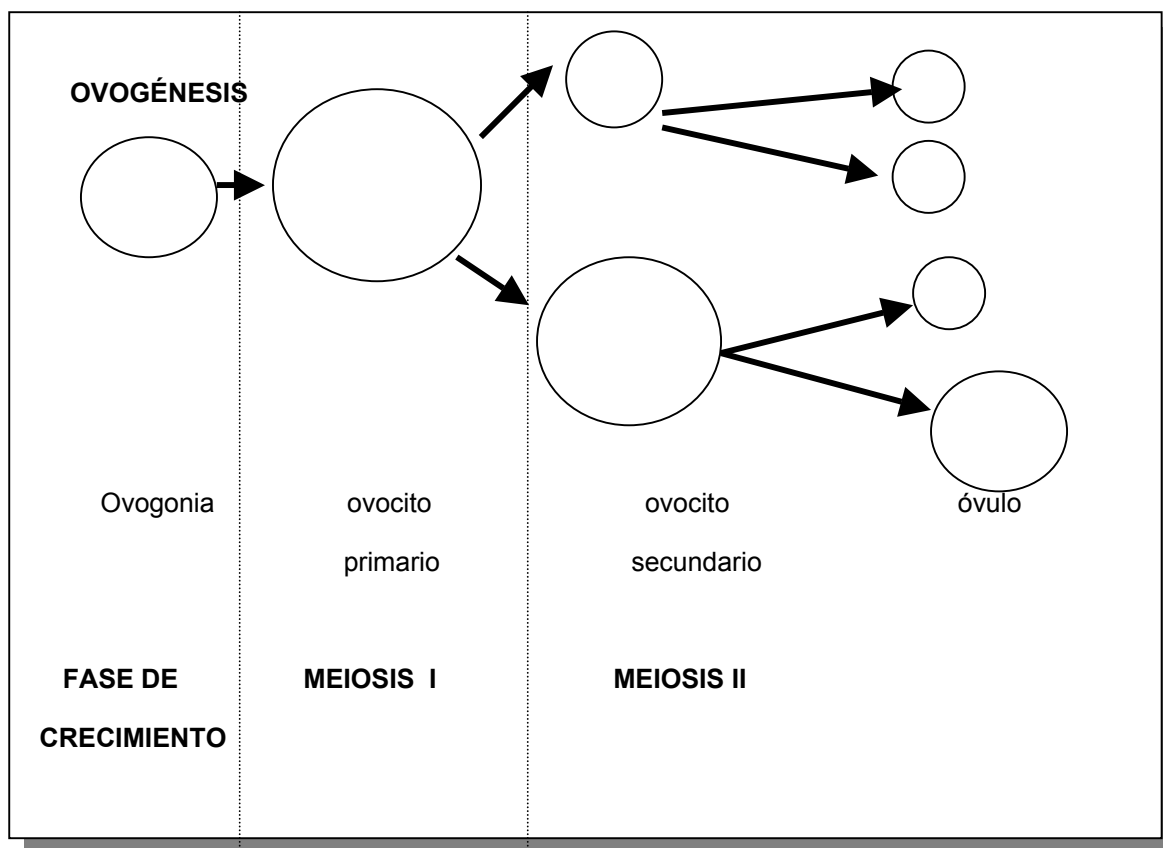
## ACTIVIDAD N° 10

A partir de la revisión anterior nos parece interesante resaltar la idea de meiosis-gametogénesis. Una forma interesante de transferir esta idea al aula es partiendo de diagramas esquemáticos de la gametogénesis, en los cuales las células se hallan “vacías”. Así los alumnos, al completarlas con los cromosomas, pueden trabajar los conceptos de la meiosis.

Esta actividad puede organizarse como se la presentamos a continuación.

1. Reunidos en grupos de 3 ó 4 compañeros, observen las figuras que aparecen a continuación y resuelvan la consigna:
  - a) Completen los diagramas sobre ovogénesis y espermatogénesis suponiendo que se trata de un organismo  $2n=4$ . Para ello dibujen los cromosomas e indiquen para cada célula con el número cromosómico que corresponda. Si es necesario utilicen distintos colores.





2. Suponga que ha planteado a sus alumnos la actividad anterior:
  - a) ¿Usted cree que este planteo permite transferir conceptos básicos de la meiosis a la gametogénesis? ¿Por qué?
  - b) ¿Qué inconvenientes cree que pueda presentar la actividad así planteada?
3. Suponga que en esta actividad se incluyeran aspectos del control endocrino en la maduración de gametas en el ser humano.
  - a) ¿Cómo lo haría?
  - b) ¿Lo considera oportuno? Fundamente su respuesta.

Si bien esta actividad parece muy sencilla, el alumno sólo podrá resolverla si tiene bien en claro la meiosis, ya que debe completarla con cromosomas, por lo cual también podemos utilizarla como actividad evaluativa. Errores en la misma implicarán, por lo tanto, que este tema merece revisiones. Además podrá asociarla a problemáticas cercanas a los intereses de los adolescentes, por ejemplo, relacionarla con explicaciones del control hormonal, ciclo menstrual, educación sexual, fecundación in vitro, entre otros. Comprender estos aspectos cíclicos ayuda a entender las funciones e interrelaciones que posibilitan la continuidad de la vida. Además,

cuando se analiza la acción de los humanos sobre estos procesos se puede ver cómo sus decisiones, favorecen o no dicha continuidad. Estas son las implicancias éticas del tema.

El alcance que usted decida darle a un contenido de biología puede ser muy variado. Como ya veremos al desarrollar el tema sobre las unidades didácticas en el capítulo 4, el alcance dependerá principalmente de la finalidad que usted persiga.

### *La fecundación*

Hasta aquí podemos exponer dos ideas básicas con lo desarrollado en este capítulo.

Las gónadas producen células muy especializadas, son las gametas que **denominamos óvulo y espermatozoide**.

Los 'hijos de la reproducción sexual' son todos distintos, porque durante el proceso de gametogénesis por meiosis se producen recombinaciones genéticas y se combinan al azar gametas masculinas y femeninas.

#### **Veamos ahora algunas cuestiones sobre los sexos y la fecundación.**

En la naturaleza encontramos organismos de sexos opuestos. Cada sexo se especializa en la producción de un tipo de gametas, o masculinas o femeninas, a este tipo de especies las llamamos **dioicas**.

Pero también hay especies **hermafroditas** que son **monoicas**, ya que el mismo individuo produce gametas masculinas y femeninas. Entre los animales, por ejemplo la lombriz de tierra y los caracoles son hermafroditas. La mayor parte de las especies hermafroditas, no se autofecundan, la reproducción se produce por intercambio entre dos individuos que se acoplan, la **fecundación es cruzada y recíproca**.

Existen distintos mecanismos que evitan la autofecundación, por ejemplo la maduración de las gónadas y la producción de gametas en distintos momentos. Entonces, si la autofecundación no es el proceso más frecuente entre los seres vivos ¿qué ventaja tiene que los organismos sean hermafroditas? La respuesta está en la forma de vida. En algunos organismos hermafroditas son parásitos, sésiles o de movimientos lentos, en ellos la autofecundación sería una adaptación que les permite reproducirse aunque se encuentren solos.

En ninguna especie de vertebrados (grupo más evolucionado de animales) se conocen individuos que produzcan indistintamente óvulos y espermatozoides. Esto contrasta con las plantas vasculares con flores (grupo más evolucionado de plantas) que tienen, normalmente, tanto órganos masculinos como femeninos, aunque no siempre pueden autofecundarse.

Para profundizar el tema de la autofecundación o el entrecruzamiento en plantas hermafroditas, le proporcionamos el siguiente texto extraído del trabajo “*Estrategia reproductiva de una hierba perenne: Hypoxis decumbens (Hypoxidaceae)*” de Raimúndez y Ramírez, investigador del Centro de Botánica Tropical en el Instituto de Biología Experimental de la Universidad Central de Venezuela. El texto completo puede ser consultado en:

**<http://www.ots.duke.edu/tropibiojnl/claris/46-3/RAIMUNDE>**

“El predominio del hermafroditismo entre las angiospermas (aproximadamente el 90% de las poblaciones de plantas), sugiere la existencia de amplias ventajas en reproducirse en forma paterna y materna simultáneamente. Entre éstas, la facilidad de encontrar pareja en ambientes recientemente colonizados o cuando la dispersión del polen es ineficiente, y compartir el gasto en estructuras de atracción en plantas polinizadas por animales. Sin embargo, la aparente facilidad para la reproducción autógena que se presenta en estas plantas se ve contrarrestada por la existencia de diferentes mecanismos que favorecen el entrecruzamiento o xenogamia, como son los sistemas de incompatibilidad. Así, el 80% de las especies hermafroditas presenta sistemas de autoincompatibilidad, por lo que es obligatorio entrecruzarse para obtener descendencia.

Estas dos posibilidades que se le presentan a las plantas, autofertilizarse o entrecruzarse, están asociadas con una gran variedad de factores ecológicos, morfológicos y fisiológicos que, combinados, determinan y caracterizan el sistema reproductivo. Por ejemplo, el sistema reproductivo guarda correlación con la estabilidad ambiental. En los ambientes sometidos a continuas perturbaciones predominan las especies autógenas, mientras que hay mayor proporción de xenogamia en los ambientes más estables. Por otra parte, las plantas xenógenas muestran una mayor inversión en estructuras masculinas puesto que tener un sistema eficiente de polinización, asegura la transferencia de polen, mientras que las plantas autógenas dirigen los recursos hacia estructuras femeninas. Además, la relación polen/óvulo, es menor a medida que es más eficiente la transferencia de polen. Unido al costo de producción de polen está el costo de producción de estructuras de atracción de los polinizadores, que es menor a medida que aumenta el grado de autogamia, puesto que se reduce la dependencia de ellos. Todos los recursos no utilizados en atracción o en función masculina, pueden ser utilizados en producción de semillas o función femenina.

Otra asociación importante que se puede observar en las plantas entre su forma de vida y su sistema reproductivo, es que la autogamia está frecuentemente asociada a plantas de vida corta, como hierbas anuales, mientras que la xenogamia es característica de plantas perennes, tanto hierbas como arbustos y árboles.”

### *¿Dónde ocurre la fecundación?*

La fecundación requiere un medio húmedo que permita a la gameta masculina trasladarse y llegar hasta la femenina. Por lo tanto la evolución y las estrategias que aseguran la fecundación, básicamente se han desarrollado en función de la conquista de los organismos del ambiente terrestre.

Muchos animales acuáticos liberan sus gametas al agua, allí no se desecan, pueden encontrarse y es así como la fecundación se facilita en este medio. Esta forma de fecundación en la que el espermatozoide se une con el óvulo fuera del cuerpo de ambos progenitores se denomina **fecundación externa**, típica de especies acuáticas, principalmente de invertebrados y entre los vertebrados algunos peces.

El ambiente terrestre plantea problemas para la reproducción de los animales y las soluciones deben buscarse en la capacidad de locomoción de estos organismos. Podemos distinguir dos posibilidades. La primera de ellas es que la fecundación continúe siendo externa como en los animales acuáticos. Para ello sencillamente el individuo se traslada al agua más próxima y deposita allí sus gametas. Este es el caso de los anfibios, grupo de vertebrados que no lograron la conquista definitiva del ambiente terrestre, justamente porque dependen del ambiente acuático para la fecundación.

En los anfibios la hembra es estimulada por el macho para que libere los huevos, y posteriormente el macho los fecunda con sus espermatozoides.

El movimiento de los espermatozoides en el agua es más o menos al azar. Sin embargo, la liberación de un gran número de óvulos, proceso que denominamos desove, generalmente asegura la fecundación de por lo menos algunas gametas, lo que permite preservar la especie.

La fecundación externa, característica de varios organismos acuáticos, es el tipo de fecundación de los seres más primitivos.

La otra posibilidad, y la única para el resto de los animales de vida terrestre es a través de la **fecundación interna**, es decir la unión de gametas, -óvulo con espermatozoide-, ocurre dentro del cuerpo de la hembra, de este modo está asegurado el encuentro. Este tipo de fecundación se relaciona, entonces, con la aparición de la vida en el ambiente terrestre y se encuentra en los animales terrestres y algunos acuáticos.



### *Un aporte para el aula*

**La fecundación externa es característica de la mayoría de los peces.**

**Por ejemplo, el salmón hembra puede expulsar hasta 17.000 óvulos para que solo algunos de ellos se encuentren con los espermatozoides de su especie. En el bacalao el desove puede alcanzar los 6.000.000 de unidades.**

Reflexione con sus alumnos el significado de desoves tan abundantes en los peces, en términos de eficiencia reproductiva y gasto energético.

Este tipo de fecundación ocurre mediante diversas estrategias así, el espermatozoide llega hasta la gameta femenina:

el macho y la hembra ponen en contacto las cloacas (aves);

mediante órganos especializados que introducen los espermatozoides, por ejemplo tentáculos modificados (calamares y pulpos) o espermatóforos (insectos);

mediante los palpos (arañas) que son apéndices con diversas funciones;

o bien por la existencia de una serie de estructuras modificadas (penes).

## **El desarrollo del embrión**

Una vez que ocurre la fecundación, sea externa o interna, el desarrollo posterior del embrión presenta una de varias alternativas, la que queda evolutivamente determinada por la relación con el medio en el que se haya producido la evolución de la especie.

En los animales existen tres formas de desarrollo embrionario.

### *Los animales ovíparos*

Son aquellos cuyos embriones se desarrollan en el interior de un huevo que les provee todos los nutrientes necesarios para su posterior desarrollo. Esta forma de desarrollo se encuentra tanto en organismos de fecundación externa como interna. Si el desarrollo tiene lugar en el agua, el huevo es muy simple, sin cubiertas impermeables, sólo una capa gelatinosa, por ejemplo en distintas especies de peces y en los anfibios. En cambio cuando el desarrollo es en el ambiente terrestre puede ocurrir, entre otros problemas, una posible desecación. Esto evolutivamente se solucionó con la producción de huevos con **cáscara** y membranas protectoras, con suficientes sustancias de reserva o **vitelo** para su nutrición. La aparición de este tipo de huevo y la posibilidad de fecundación interna fueron algunas de las causas que

permitieron a los reptiles conquistar la tierra. Las aves también son ovíparas y entre los invertebrados este tipo de desarrollo embrionario es común, por ejemplo, en los artrópodos.

### *Los animales ovovivíparos*

Son aquellos que retienen los huevos en su interior, pero no los alimentan, solo los protegen. Evolutivamente es una forma más avanzada de desarrollo interna. Aunque el huevo permanece protegido dentro del cuerpo materno utiliza sus propias sustancias nutritivas para desarrollarse y no las de la madre. Son ovovivíparos algunos peces y reptiles, entre estos últimos algunas especies de víboras. Un caso excepcional es el de los monotremas, grupo de mamíferos que incluye al ornitorrinco. En este tipo de animales luego de producirse una fecundación interna se forman huevos con abundante vitelo que se desarrollan, por un tiempo, dentro del cuerpo de la madre y luego son puestos en un nido.

### *Los animales vivíparos*

Además de retener al embrión en el interior del cuerpo materno, entre este y la madre se desarrolla la placenta, a través de la cual pasa, por difusión, el alimento al embrión (glúcidos, minerales, oxígeno) mientras que el embrión elimina CO<sub>2</sub> y productos de desecho. La mayoría de los mamíferos son vivíparos (excepto los monotremas). También hay algunas especies, peces del grupo de los tiburones, que son vivíparas.

### *En el caso de las plantas*

La conquista del ambiente terrestre fue posible solo luego de un largo ajuste evolutivo. Las algas, que son acuáticas, liberan las gametas masculinas y femeninas al agua donde se produce la fecundación. Las gametas son móviles con flagelos y/o cilias, los cuales son ventajosos para el desplazamiento en ese medio. Como la colonización de la tierra fue paulatina, las plantas terrestres más primitivas, que producen gametas móviles, aún dependen del agua para su reproducción. **Los musgos y helechos** suministran pruebas de este ajuste evolutivo: la fecundación se produce a continuación de una lluvia. Este es el medio para facilitar el desplazamiento de la gameta masculina hacia la gameta femenina. Es decir, solamente se verifica fecundación cuando los anterozoides pueden desplazarse en el agua de lluvia. La fecundación en este caso depende del clima y del azar. Estas plantas habitan en regiones húmedas con abundante provisión de agua, al menos en alguna época del año.

En las plantas con flores (gimnospermas más evolucionadas y angiospermas) aparecen otras estrategias adaptativas: los granos de polen y el desarrollo del tubo polínico. En este caso en lugar de depender del agua de lluvia, aparecen células reproductoras capsuladas, las **esporas**, que resisten la desecación. En lugar de gametas masculinas nadadoras que llegan mediante el agua hasta los óvulos, los granos de polen llevan en su interior las células gaméticas y son transportados por el aire, por el viento o por animales hasta los órganos femeninos. Este fenómeno, **la polinización**, evita la necesidad de agua, si bien hay casos especializados donde la polinización ocurre por medio del agua.

## Los ciclos biológicos

### *La alternancia de las fases haplonte y diplonte*

Como acabamos de ver, meiosis y fecundación son procesos que caracterizan a la reproducción sexual. Ambos procesos se pueden producir en distintos momentos del ciclo biológico, según los organismos. No obstante, los ciclos biológicos de todos los organismos eucarióticos tienen un patrón general común:

en algún momento ocurre meiosis, dando lugar a células haploides;

dos células haploides se fusionan durante la fecundación originando una célula diploide con nueva combinación genética;

en otro momento ocurre mitosis ya sea a partir de células haploides o diploides o de ambas, dando como resultado el crecimiento del cuerpo multicelular del organismo y/o a la reproducción asexual del mismo.

La diferencia entre los distintos ciclos se deben al intervalo entre la meiosis y la fecundación y/o la duración relativa de los estados haploides y diploides. En los ciclos biológicos de organismos que se reproducen sexualmente, alternan dos etapas o fases nucleares, caracterizadas por el número cromosómico de las células que lo conforman. Así, denominamos **haplofase o fase haploide** aquella cuyas células tienen número cromosómico haploide, y **diplofase o fase diploide** las que tienen número cromosómico diploide.



### ACTIVIDAD N° 11

Antes de continuar con más explicaciones relacionadas con la biología de la reproducción, creemos conveniente hacer una pausa y que usted revise los conceptos desarrollados hasta aquí.

Para ello le proponemos la siguiente tarea:

1. Resuelva usted mismo la actividad que aparece como “Sugerencia para el aula” que se encuentra en esta sección, en la parte denominada “Reproducción sexual”.
2. En función de las explicaciones que le proporcionamos sobre la evolución de la fecundación elabore, para la actividad anterior, consignas que guíen a sus alumnos para encontrar patrones comunes, interrelaciones con el ambiente y cambios evolutivos entre las gametas del cuadro.

3. Realice un glosario con los conceptos hasta ahora vistos. Le acercamos algunos que es necesario conocer para abordar el tema de los ciclos biológicos. Usted puede completar el listado con otros que crea convenientes:
4. haploide – diploide – mitosis – meiosis – esporas – gametas – haplofase - diplofase
5. Recuerde que el aprendizaje de los términos tiene sentido si refieren a un concepto y los podemos incluir en explicaciones coherentes de los fenómenos naturales. Es decir, que paralelo al aprendizaje de los procedimientos de la ciencia debemos ir construyendo un lenguaje particular.
6. Elabore un texto utilizando los términos de la lista del ítem 2 (y los que haya decidido agregar), colóquele un título. Defina un momento del proceso de enseñanza y aprendizaje en el que pudiera trabajar ese texto con sus alumnos; indique con qué finalidad les propondría ese trabajo.
7. Elabore una explicación para justificar la importancia que tiene el proceso de reproducción sexual en la evolución de la vida.
8. Para la resolución de las tareas anteriores, le sugerimos que intercambie ideas con sus colegas.

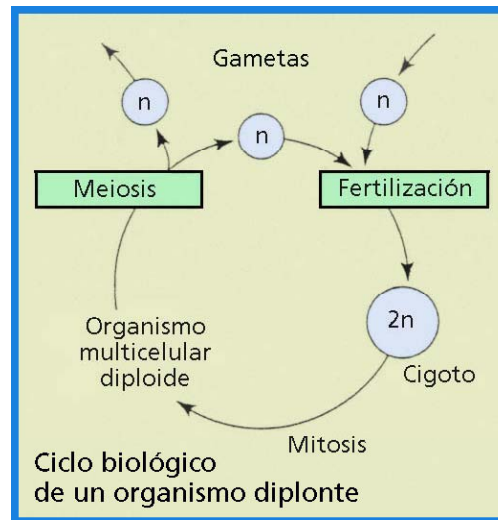
Si revisa el “iceberg del conocimiento” que le presentamos en el capítulo 2 podrá ver que cada uno de los conceptos a que hace referencia un término particular del lenguaje forma parte de una estructura semántica de significados en la cognición de cada persona. Del mismo modo cuando usted selecciona los contenidos, estos términos formarán parte de una red que, según cómo organice su enseñanza, irán apareciendo en las situaciones didácticas.

La realización de la actividad de síntesis anterior posibilita continuar con el análisis de los ciclos a través de los cuales retomaremos la historia evolutiva de la reproducción en los organismos.

### **Ciclo biológico de un diplonte**

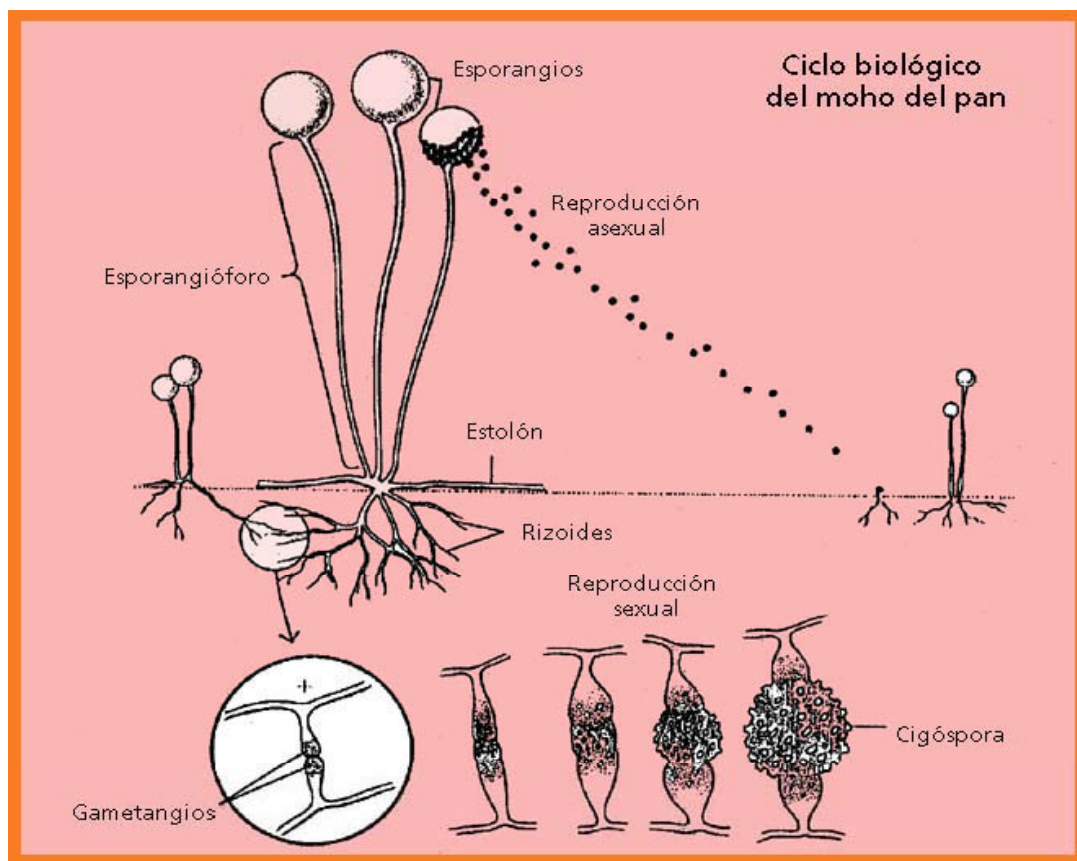
En este caso casi todo el ciclo de vida del organismo transcurre en estado diploide. La meiosis ocurre inmediatamente antes de la fecundación. Este es el caso de los animales, en los que las gametas se forman por meiosis y luego de la fecundación se forman el cigoto diploide. Por mitosis sucesivas de esta célula se formará el cuerpo diploide del individuo adulto. En las gónadas del individuo se producen gametas por meiosis.

Los organismos que presentan este ciclo se denominan **diplontes**. En estos casos, en el ciclo hay un dominio de la diplofase sobre la haplofase (esta sólo está representada por las gametas).

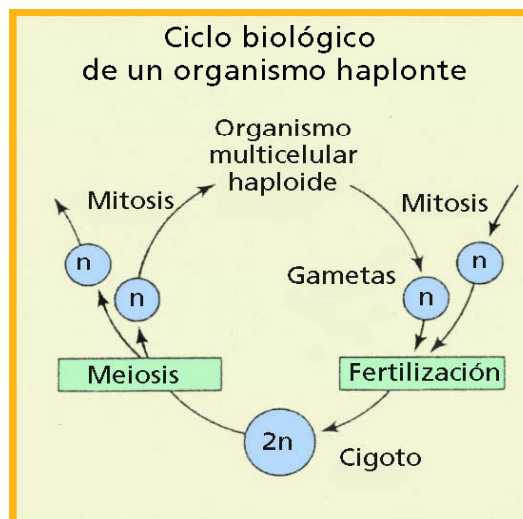


### Ciclo biológico de un haplonte

Este tipo de ciclo puede considerarse inverso al anterior, ya que en su mayor parte lo constituye la haplofase. En este caso, la meiosis y la fecundación son sucesivas. Ocurrida la fecundación, el cigoto diploide resultante sufre meiosis inmediatamente, formándose células haploides que, por sucesivas mitosis, formarán el cuerpo del organismo. Bajo ciertas circunstancias algunas de estas células haploides se transforman en células sexuales que se fusionan formando el cigoto diploide, que sufre meiosis originando nuevamente individuos haploides. Esto ocurre en muchos protistas y hongos. Por ejemplo, cuando los nutrientes son escasos, entre los protistas como las algas *Chlamydomonas* que se reproducen asexualmente mediante mitosis de las células haploides, las células haploides se comportan como células gaméticas que se fusionan originando una célula diploide; inmediatamente esta célula 2n se divide por meiosis. Entre los hongos, el moho del pan presenta este tipo de ciclo biológico.



En este ciclo de un organismo **haplonte** hay un dominio de la haplofase sobre la diplofase (esta solo se reduce al cigoto), es decir que la mayor parte del ciclo de vida de estos organismos la pasan como organismos formados por células haploides.





### *Un aporte para el aula*

El último es el caso más complejo, porque presenta dos cuerpos: dos individuos o dos partes de uno solo, formado por células de diferente número cromosómico y mientras uno está en haplofase y el otro se halla en diplofase. (Sabemos que esto es algo difícil de entender para los humanos...).

#### Ciclo biológico de un haplodiplonte

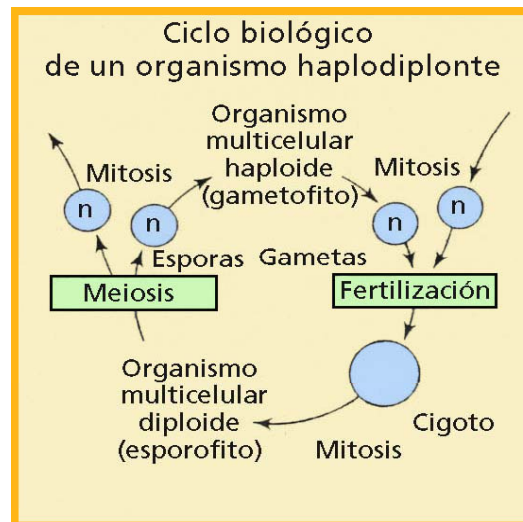
Los organismos que tienen este tipo de ciclo de vida, como por ejemplo los musgos y las plantas vasculares, poseen una fase haploide y otra diploide. Se caracterizan porque la fecundación y la meiosis están separadas en el tiempo por períodos más o menos largos, el cigoto diploide formado en la fecundación comienza a dividirse por mitosis dando lugar a un cuerpo multicelular diploide. Este cuerpo se denomina **esporófito** porque a partir de él, por meiosis, se formarán células haploides o **esporas**. Estas esporas se dividen por mitosis sucesivas formando un cuerpo multicelular haploide que se denomina **gametófito**, ya que algunas de sus células se diferenciarán en gametas, las que en la fecundación formarán el cigoto diploide.



### *Un aporte para el aula*

Recuerde que la gameta femenina de las plantas es la oosfera y que en ese grupo de seres vivos, el óvulo es una estructura multicelular compleja y no una célula sexual. Le sugerimos que tenga en cuenta la cuestión anterior cada vez que trabaje el tema de la reproducción en las plantas con sus alumnos. En el conocimiento cotidiano el óvulo siempre es una gameta porque ese es el nombre que se le da a la gameta en los seres vivos más conocidos.

Los organismos que presentan ciclo haplodiplonte durante el que alterna una fase haploide con una fase diploide, se denominan **haplodiplontes**. En helechos ambas fases (gametofito y esporofito) son independientes. En cambio en las plantas con flores, la fase haploide masculina se ha reducido y queda representada sólo por los granos de polen, en tanto que la fase haploide femenina está representada por un pequeño grupo de células (el saco embrionario) que está incluido en el óvulo, es decir, que es dependiente del esporofito.



### *Comparación entre la evolución de la reproducción de las plantas y los animales*

La tendencia evolutiva en los animales fue hacia la sexualidad. Efectivamente solo los animales inferiores se reproducen asexualmente. En cambio no ocurrió lo mismo con las plantas donde la producción de esporas ha quedado como un rasgo propio de las mismas. Una explicación probable de esta diferencia se relaciona con la posibilidad de desplazamiento que tienen los animales y no así las plantas.

La movilidad de los animales les permite migrar, buscar pareja y dispersarse geográficamente por propia locomoción. Por lo tanto que los animales produzcan células asexuales cuya principal ventaja es la distribución, resulta más o menos inútil. Los animales primitivos (grupos de invertebrados inferiores como las esponjas de mar, las hidras y los corales) han presentado y aún presentan hoy, tanto reproducción asexual como sexual; pero la reproducción sexual se ha ido desarrollando gradualmente durante la evolución de los animales de organización compleja terminando por desaparecer la reproducción asexual.

En cambio, las plantas que permanecen fijas han podido subsistir gracias a la ventaja que constituye la espora para la dispersión, y a la que aporta la reproducción sexual en cuanto a la introducción de variabilidad genética. Esto constituye la clave de la historia de la evolución de la reproducción en las plantas. Mientras que las plantas más simples se reproducen por cualquier método, dependiendo de las condiciones climáticas, las plantas más especializadas producen tanto esporas como gametas, mecanismos que en conjunto permiten que la especie se conserve.

Como consecuencia las plantas tienen un ciclo biológico con dos fases. Como ya hemos visto, durante este ciclo se desarrolla un organismo asexual que se reproduce mediante esporas (esporofito) compensa la falta de movilidad de las plantas y cuya principal función será la dispersión geográfica. A partir de dichas esporas se forma un

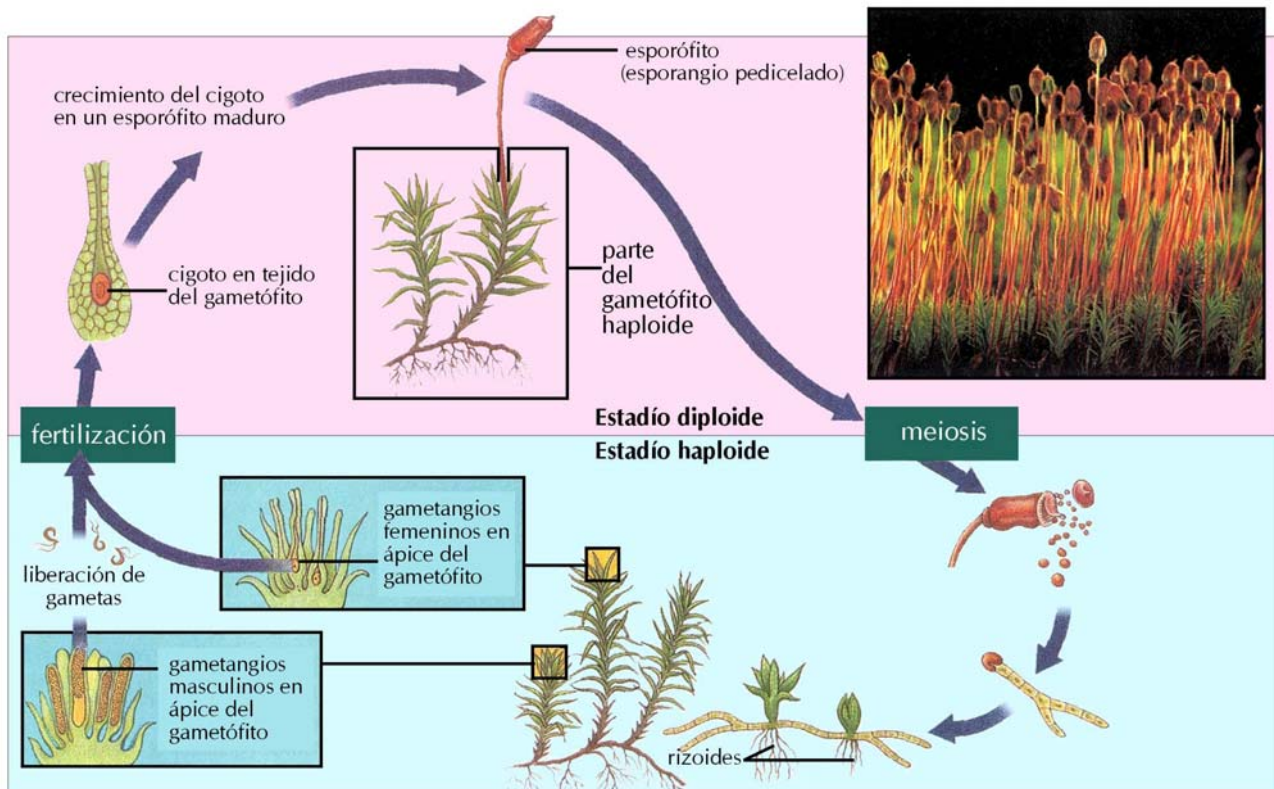
organismo sexual, productor de gametas que al fusionarse aportan la ventaja adaptativa de la sexualidad.

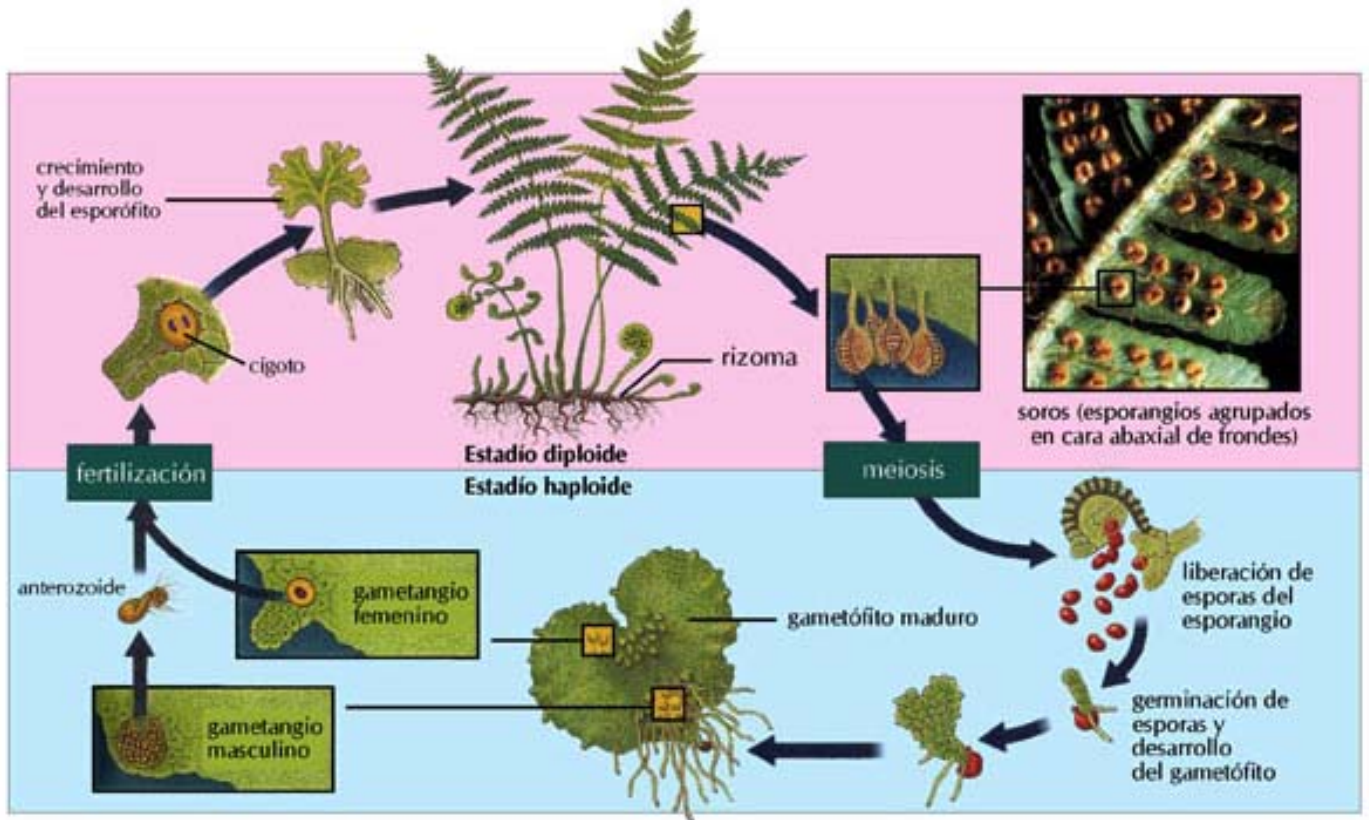


## ACTIVIDAD N° 12

Con esta actividad le proponemos que reflexione acerca de cómo sus alumnos pueden reconstruir los conceptos incluidos en la reproducción, en el contexto de la evolución de las plantas.

1. Analice la siguiente propuesta de trabajo para el aula.
  - a) Revisen la historia evolutiva de las plantas en un texto.
  - b) Observen detenidamente las láminas siguientes y respondan:







Mientras sus alumnos trabajan en la actividad anterior usted podría ayudar con las siguientes indicaciones:

Visualice la siguiente lámina acerca del ciclo biológico de un musgo. Observe que el gametofito verde constituye la fase principal, el esporófito depende de él, es parásito y sólo se desarrolla en determinados períodos del año.

Visualice la siguiente lámina que muestra el ciclo biológico de un helecho. Allí encontramos por separado gametofito y esporofito, pero este se ha convertido en la fase principal del ciclo, totalmente independiente, en cambio el gametofito es más reducido.

Visualice la siguiente lámina acerca del ciclo biológico de una planta con flor. Observe que en las plantas vasculares con flores el gametofito ha quedado reducido a unas pocas células totalmente dependientes del esporofito.

3. Le sugerimos que elija algunos colegas e intercambie con ellos los argumentos que utilizaron para justificar la pregunta anterior.

- ¿Cree conveniente dar estas ayudas? Justifique su respuesta utilizando argumentos referidos a aspectos didácticos expuestos hasta aquí en este módulo.

Como usted ya habrá podido detectar, a través de esta actividad se integra fecundación, tipos de gametas y ciclos biológicos desde una perspectiva evolutiva. Debería quedar en claro, por lo tanto, cómo evolucionó la reproducción en las plantas: la tendencia a un gametofito reducido y la importancia de las esporas.

Si las preguntas que planteamos son realmente “problemas” para los alumnos, verá que no pueden dar una respuesta inmediata y que seguramente para que la encuentren debe remitirlos a relacionar un conjunto de conocimientos previos y buscar otros nuevos. Para que esto ocurra, por ejemplo, podría intervenir con preguntas que le permitan al alumno recuperar las características de las gametas y de la reproducción de las plantas a medida que evolucionaron en el ambiente terrestre.

Por otra parte con esta actividad queremos mostrar que una pregunta problema va adquiriendo diferentes niveles de formulación a medida que usted guía la búsqueda de su respuesta. Problematicar la enseñanza es una de las características que hemos presentado al describir un modelo de enseñanza como indagación guiada.

### *Reproducción sexual y reproducción asexual: ventajas y desventajas*

Ahora analizaremos un tema que ha adquirido mucha presencia en los trabajos científicos actuales del área. Para su comprensión requiere los contenidos vistos anteriormente y por lo tanto resulta un tema integrador.

En los animales sésiles, que no pueden desplazarse mucho para buscar su pareja la reproducción asexual resultó una ventaja. En los animales que si pueden desplazarse la reproducción asexual puede ser ventajosa cuando la densidad de la población es baja y no es fácil encontrar la pareja para la reproducción.

Otra ventaja de la reproducción asexual es la de generar grandes poblaciones de una especie en poco tiempo. Por ejemplo, tanto las pulgas de agua *Daphnia*, como ciertas avispas y pulgones, cambian su reproducción sexual por la partenogénesis durante la breve estación cálida, así logran poblar las charcas con rapidez. Sin embargo, esas poblaciones están compuestas de réplicas genéticas de los progenitores y, si ocurriera un cambio adverso en su entorno, al ser todas iguales entre sí, la población completa o la especie correrían peligro de extinción.

No obstante, como hemos visto, la tendencia evolutiva fue hacia la sexualidad, desapareciendo la reproducción asexual en los animales más complejos.

En las plantas, como ya explicamos, la reproducción asexual mediante la producción de esporas tiene la ventaja de permitir la dispersión. Sin embargo, si los organismos solamente se reproducen asexualmente, solo sobrevivirán si sus progenitores están bien adaptados al medio y este se mantiene más o menos constante. Supongamos que el medio cambia y, tanto el progenitor como la descendencia producida asexualmente no soportan ese cambio, entonces no sobrevivirían (no están adaptados al cambio). Si, por el contrario, algunos descendientes fueran variantes genéticas de los progenitores porque se produjeron sexualmente (en ese proceso hay recombinación de genes), probablemente esos descendientes tengan alguna característica que resulte ventajosa en las nuevas condiciones del ambiente y les permitan sobrevivir. Esos descendientes producidos sexualmente están adaptados al nuevo ambiente.

Aunque la reproducción sexual es más lenta y complicada tiene la gran ventaja de producir una amplia diversidad de individuos, cada uno con pequeñas diferencias en su composición genética, por lo que representa un avance evolutivo con respecto a la reproducción asexual. Recuerde que durante la formación de células sexuales por meiosis, el doble juego de cromosomas (diploide), tal y como aparece en cada una de las células del adulto, se reparte al azar formando un juego único de cromosomas (haploide) en cada una de las gametas. Cuando este grupo simple se une a otro que proviene de una gameta diferente, los genes se vuelven a recombinar; esto hace posible que la descendencia no sea una copia exacta de los padres. Si el entorno en que vive esa descendencia experimenta pocos o ningún cambio, las crías que más se asemejen a sus progenitores serán las más capaces de crecer y procrear. Si acontecen cambios más drásticos en el hábitat, algunos de los descendientes más dispares con respecto a sus padres, podrían resultar favorecidos por la nueva situación. La función del sexo, al reordenar siempre los genes parentales, constituye

un mecanismo fundamental de la selección natural y es probable que exista desde mucho antes de que aparecieran los primeros organismos multicelulares.

La producción de nuevas combinaciones genéticas tiene tres causas:

la segregación independiente de los cromosomas durante la meiosis,

la recombinación genética durante la profase de la meiosis y

la combinación de dos gametas con distinta información genética en la fecundación.



## ACTIVIDAD N° 13

A pesar de las ventajas que acabamos de comentar usted probablemente haya escuchado o leído que la reproducción sexual no parece acarrear mucho beneficio a las especies que la poseen. Para reflexionar sobre esta aparente contradicción, lo invitamos a que realice la siguiente actividad que será mucho más rica si usted puede intercambiar opiniones con otros colegas.

Lea atentamente el siguiente texto:

“En las especies que se reproducen sexualmente, sólo pueden tener descendencia las hembras, es decir, aproximadamente la mitad de los individuos. Además, los individuos gastan una enorme cantidad de energía buscando pareja y, al encontrarla, también tienen que lograr una unión. Esto no parece ser muy rentable desde el punto de vista energético. Pensemos en los complejos cortejos nupciales de muchas aves y enseguida nos daremos cuenta de que la reproducción exige un inmenso trabajo y una enorme inversión de energía. Como son útiles en los cortejos, muchos machos presentan vistosos colores que atraen a las hembras, piénsese en los pavos reales o en los faisanes. Pero estos colores también atraen a los depredadores y cazadores; es que la evolución es práctica: si tiene que morir alguien es preferible que muera el macho, ya que la hembra tiene que traer al mundo la descendencia.

Los animales tienen problemas para reproducirse, pero para las plantas es más difícil aún. Al no tener la capacidad de desplazamiento, o mejor dicho al tenerla muy limitada, están adaptadas a la ayuda exterior. Muchas especies requieren del viento o de los insectos polinizadores. Además con otro agravante: la semilla no puede caer de la planta progenitora, porque compiten por los nutrientes del suelo y la luz. Cuanto más lejos la semilla se desplaza de la planta madre, mejor; por eso las semillas tienen forma de planeador, de este modo el viento la lleva lejos, o tienen garfios, que las pegan en los calcetines o en el pelo de los animales y así son transportadas, o bien presentan otras formas y estructuras útiles para su dispersión.

Está claro que con todas estas desventajas, las especies que se reproducen sexualmente tienen poca descendencia, aunque algunas especies sexuadas tengan otras posibilidades

de reproducción como el hermafroditismo (caso de los caracoles) o la poligamia (como los leones y los ciervos).”

Adaptado de (<http://www.ideal.es/waste/reproduccion.htm>)

1. ¿Cómo relacionaría este tema con lo que ya vieron los alumnos (en los niveles previos del sistema educativo) respecto de las adaptaciones, la relación estructura-función, los tipos de reproducción y la diversidad? ¿Para qué cree que serviría establecer esta relación?
2. Cómo respondería a sus alumnos la siguiente pregunta: ¿Por qué a pesar de los inconvenientes que genera la reproducción sexual, esta forma de reproducción es la que predomina entre las especies más evolucionadas?
  - a) ¿Podrían ser los anteriores interrogantes válidos para problematizar el análisis de estos temas, ¿qué otras preguntas podría plantear?
  - b) Le sugerimos que elija algún compañero e intercambie ideas para resolver los puntos de esta actividad.

Hemos reflexionado así sobre ventajas y desventajas de algunas estrategias reproductivas de los diferentes grupos de seres vivos. Presentar a modo de preguntas problema, las situaciones que normalmente se dan sin cuestionamiento en la escuela, ayuda a encontrar las razones por las cuales las estructuras y funciones se fueron modificando a lo largo de la evolución.

## Clonación y reproducción sexual

Hasta aquí hemos abordado los temas relacionados con el ciclo celular (capítulo 2) y con los ciclos biológicos (capítulo 3) desde una mirada evolutiva. Analizaremos a continuación una de las modificaciones tecnológicas que puede traer consecuencias en el curso del proceso evolutivo: la clonación artificial.

A fines de febrero de 1997, una revolucionaria noticia apareció en los titulares, un grupo de genetistas guiado por Ian Wilmut y Keith Campbell, del Instituto Roslin en Escocia anunciaron que habían clonado una oveja llamada Dolly, que era exactamente igual a su madre. Esta oveja, que nació el 5 de julio de 1996, se convirtió en el primer mamífero clonado y desde entonces esa palabra fue asimilada por nuestras mentes.

¿Qué significa esto? Que se ha realizado una proeza científica sin precedentes: se logra producir una copia exacta de un mamífero adulto a partir de una célula ya diferenciada, **demostrando que el ADN puede ser reprogramado**. Pero en realidad, ya hace más de veinte años que los científicos estudian la clonación.

Vamos por parte. Empecemos definiendo qué es un **clon**.

"**Klon**" es una palabra griega que significa retoño, rama o brote. Es un individuo genéticamente idéntico a otro, que comparte todos sus genes.

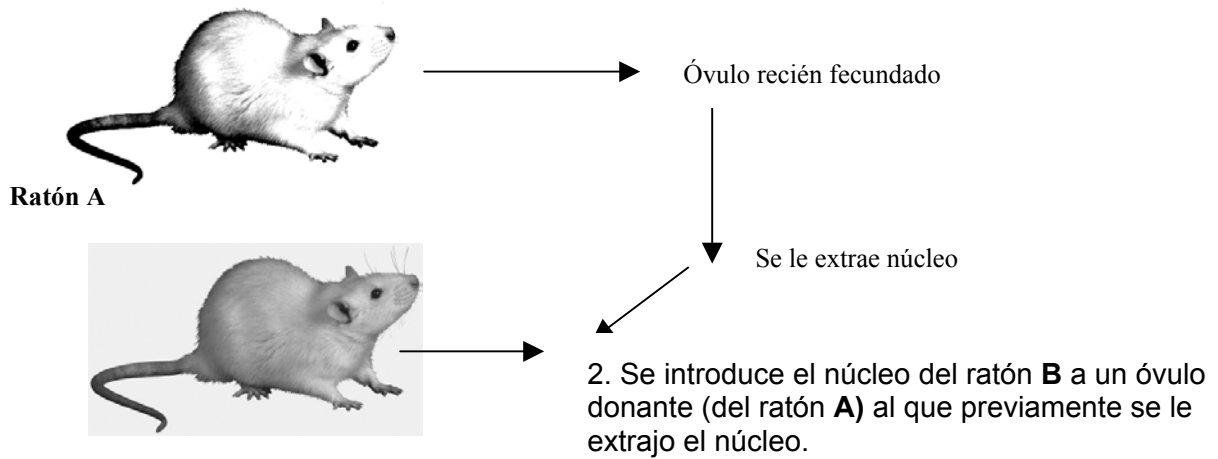
En el lenguaje científico es el conjunto de individuos que desciende de otro por vía vegetativa o asexual. El clon no es algo nuevo. La clonación existe en la naturaleza: las bacterias cuando se reproducen por fisión, los gemelos -el proceso de clonación ocurre dentro del útero de la madre cuando el incipiente embrión se divide en dos- y en las plantas, lo que ya hemos visto, cuando se reproducen asexualmente, por ejemplo a través de gajos.

La clonación artificial es la acción humana que tiene como fin el de reproducir a un ser de manera perfecta en el aspecto fisiológico y bioquímico a partir de una célula originaria. Esta definición de diccionario quiere decir que a partir de una célula de un individuo se crea otro individuo exactamente igual al anterior. Desde hace varias décadas los científicos están desarrollando distintas técnicas para clonar. Uno de los métodos es tomar un embrión de unas pocas células (obtenidos a partir de la unión de un óvulo con un espermatozoide) y dividirlo en varios embriones: cada uno de ellos serán idénticos entre sí, pero no al progenitor.

Otro método, menos difundido consiste en obtener células indiferenciadas de un embrión y clonaras. Otros, utilizan óvulos recién fecundados a los que se les extrae el núcleo y lo transfieren a otra gameta. Veamos este caso:

### *¿Cómo clonar un ratón?*

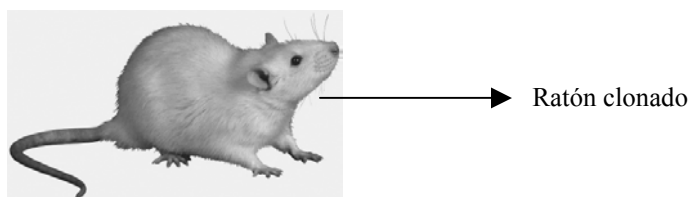
De un óvulo recién fecundado de un ratón **A** se extrae el núcleo con su ADN usando una micropipeta para no dañar la célula



#### **Ratón B**

3. El óvulo con el núcleo implantado se cultiva en laboratorio para permitir su desarrollo.
4. Tras unas 20 horas, el óvulo se ha transformado en embrión.
5. Este embrión se implanta en el útero de una madre adoptiva.

El ratón clonado nacerá en un parto normal y será una copia exacta del ratón B pues posee toda su información genética. La madre adoptiva no interviene en el proceso desde el punto de vista genético.



### *¿Cuál fue la novedad en la clonación de la oveja Dolly?*

La oveja Dolly, en cambio, es hija de una técnica diferente. En efecto, esta oveja no ha sido obtenida de una célula embrionaria, ni de un ovocito, sino de una célula somática (en este caso, extraída de la glándula mamaria), perteneciente a un animal adulto y especializada en desempeñar sólo una determinada función: producir leche.

El caso de Dolly demostró que es posible hacer regresar esta célula diferenciada al estadio en que puede originar, por sí sola, un organismo completo. Dijimos al

principio que con la creación de Dolly se había realizado una proeza científica sin precedentes: se logró producir una copia exacta de un mamífero adulto a partir de una célula ya diferenciada, se **demostró así que el ADN puede ser reprogramado**.



### *Un dato*

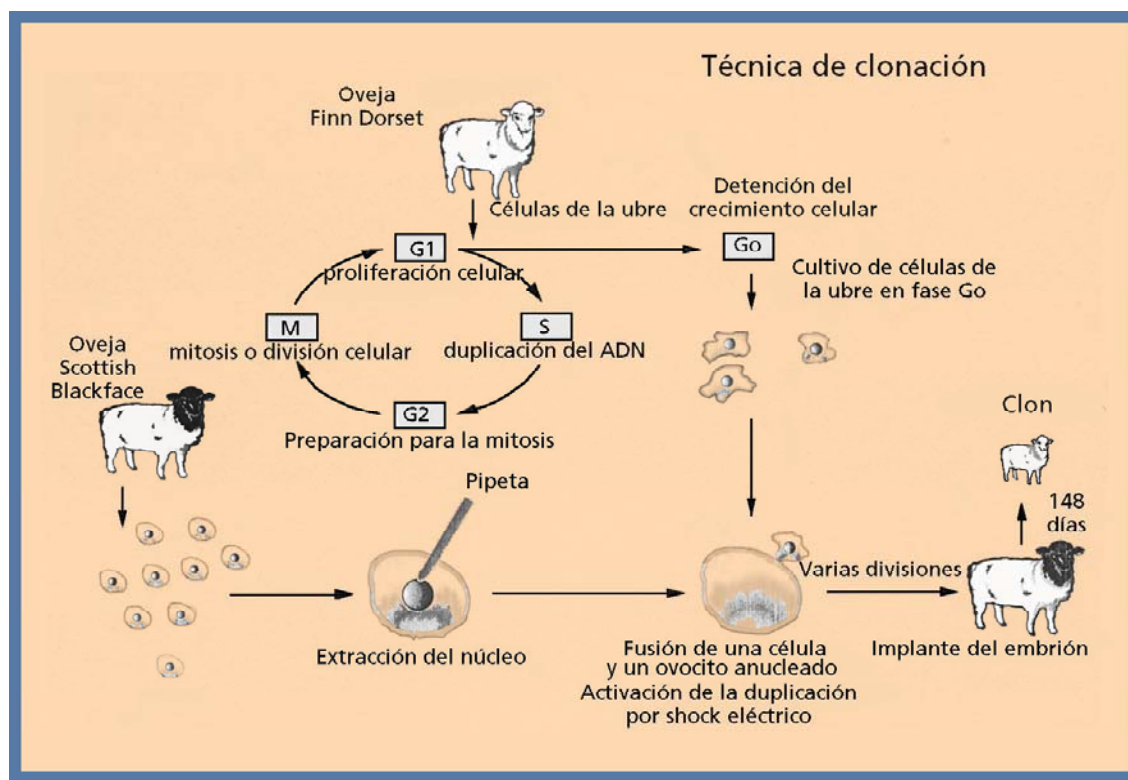
¿Por qué la oveja fue bautizada con el nombre de Dolly? En alusión a su origen y a la abundancia mamaria de Dolly Parton, la cantante folk norteamericana!

Recordemos que todas las células de un organismo tienen la misma información genética, que luego por procesos de diferenciación celular las células se especializan y usan sólo parte de esta información, el resto queda “apagado”. Por ejemplo, una neurona tiene toda la información genética, no sólo sobre cómo transmitir un impulso sino también sobre cómo fabricar proteínas, sin embargo no puede sintetizarlas. Los científicos aseguraban que cuando una célula se especializa formando parte de un determinado tejido en el adulto, por ejemplo del muscular o del nervioso, sufre un proceso de **diferenciación** irreversible. Por lo tanto, clonar un mamífero es más complicado si la célula utilizada se encuentra en un estadio de especialización avanzado.

Entonces... ¿Cómo se explica que las células mamarias, utilizadas para clonar a Dolly, ya especializadas para la producción de leche, hayan podido **desdiferenciarse**, borrar su programación y volverse **totipotentes**, es decir con información para dar origen a todas las células y tejidos de un organismo? Este fue el motivo de la gran difusión que tuvo el caso de la oveja Dolly, encontrar que una célula especializada pueda retroceder en el camino de la diferenciación. Pero además hay otro aspecto de gran relevancia biológica.

El otro punto importante de la clonación de Dolly está relacionado con el ciclo celular. Recordemos que las células pasan por un ciclo celular que va desde la síntesis de ADN durante la interfase hasta su posterior división. Como usted se dará cuenta, es necesario que la célula que se utilice para la clonación detenga de alguna manera su crecimiento y su ciclo celular. Este puede ser detenido en un punto específico de la fase G1. En tal caso, se dice que la célula se ha retirado del ciclo celular, y que se encuentra en estado G0. Luego puede retomar su crecimiento comenzando con el periodo G1. Este fue otro logro importante de los investigadores en el caso de Dolly.

Ahora sí estamos en condiciones de interpretar la siguiente figura sobre el esquema experimental que permitió la clonación de un mamífero a partir de una célula adulta.



Tomada de CIENCIA HOY, vol 7: 39,1997.

El nuevo ser generado resulta absolutamente idéntico a la oveja que ha producido la célula mamaria. Y por lo tanto tiene todo su patrimonio genético.

Un año después del nacimiento de Dolly, la Universidad de Massachusetts y el Advanced Cell Technology (una empresa de biotecnología) consiguieron la clonación de terneros. Además de ser clones, estos terneros son también animales transgénicos (genéticamente modificados), que portan en su información hereditaria genes no vacunos para la producción de fármacos en su leche. Así los investigadores estudian la manera de combinar las biotecnologías (transgénesis y clonación) de modo de conseguir métodos de producción de fármacos más económicos.



### Un dato

Si está interesado puede acceder gratuitamente al artículo original presentado en la revista Nature a través de las siguientes direcciones:

<http://www.nature.com> o <http://www.nature.america.com>

## Los problemas éticos de la clonación: un tema para reflexionar

Como todas las nuevas biotecnologías, la clonación plantea serios problemas éticos, sociales y legales. Se trata, sin duda, de un tema acerca del cual existen posturas muy diversas, ya que no es difícil imaginar que la creciente capacidad de alterar seres vivos también puede ponerse al servicio de fines sumamente cuestionables. Por esa razón le planteamos la siguiente actividad.



### ACTIVIDAD N° 14

Reflexione sobre qué aspectos debería considerar una legislación que regule los alcances de la clonación. Redacte un informe con sus ideas.

Lea cuidadosamente los textos que siguen, con los títulos "Casos y opiniones" y "Artículos de publicaciones". Al terminar, retome esta actividad.

Revise las ideas del punto 1 y, si es necesario, modifíquelas. Redacte un nuevo informe y, también, una síntesis que oriente sobre el contenido de sus ideas. Ambos textos deberán ser enviados al tutor si este así lo determina.

#### Casos y opiniones

El Instituto Bioético, de la Fundación de Ciencias de la Salud, anunció la creación en España del comité de expertos sobre bioética y clonación. Un grupo de científicos reunidos en Madrid asegura que hasta dentro de cinco años no será posible aplicar técnicas seguras de clonación y esto no con el propósito de replicar seres humanos, sino para curar miles de enfermedades genéticas, fabricar fármacos en animales transgénicos, realizar xenoinjertos y contar con células humanas para trasplantes.

Los científicos y juristas participantes en el seminario "En las fronteras de la vida: ciencia y ética de la clonación", celebrado en Madrid, aseguran que realizar clonaciones humanas con la tecnología actual sería un disparate, una irresponsabilidad de consecuencias inimaginables: nacerían niños con poli-malformaciones (bebés con dos cabezas, dos corazones, sin manos, sin piernas o con varias), que la sociedad no sabría qué hacer con ellos.

El profesor Harry Griffin, uno de los padres de la oveja Dolly, fue incluso más explícito y en su exposición "Clonación por transferencia nuclear", dijo que lo más terrible, en el caso de que viera la luz un niño clonado, sería el hecho de ignorar por completo el legado oculto en sus genes. Una herencia transmitida de generación en generación que puede esconder aberraciones o enfermedades genéticas terribles: envejecimiento prematuro, cánceres, dolencias neurológicas y psiquiátricas hasta ahora desconocidas. En suma una serie encadenada de trastornos genéticos para los que hoy no tiene remedio la ciencia y que podría situar a la especie humana al borde de la extinción. Esto sin hablar de la clonación para conseguir órganos de repuesto.

Por tanto, los investigadores creen que hasta dentro de cinco años la biotecnología aplicada a la clonación humana, no habrá alcanzado el nivel de desarrollo adecuado. Antes, sin embargo, la ciencia deberá superar barreras éticas y morales. Los expertos congregados en Madrid se refirieron a los ensayos preclínicos en los que será preciso sacrificar cientos de embriones humanos para conseguir perfeccionar las técnicas de la clonación. La pregunta es ahora, ¿está la sociedad dispuesta a realizar ese sacrificio? ¿es eso ética y moralmente aceptable?.

### **El concepto de eugenesia**

*El hombre podría, al menos teóricamente, elegir su destino evolutivo... Se conoce por eugenesia el estudio de los medios, bajo control de la sociedad, que pueden mejorar o deteriorar las cualidades raciales de las generaciones futuras, tanto físicas como mentales. Hay dos tipos de eugenesia: negativa o preventiva, que intenta disminuir la frecuencia de los genes perjudiciales, y la positiva o progresiva, que intenta aumentar la frecuencia de los genes beneficiosos. Ahora bien: ¿cómo se implementan estas medidas?, ¿cuál es el fin de la eugenesia?, ¿quién puede decidir el sentido de la evolución humana con la seguridad de hacer lo mejor?, ¿cuáles son los caracteres deseables y cuales los indeseables y quienes lo determinan así?...*

Para Noëlle Lenoir, presidenta del comité Internacional de Bioética de la UNESCO, la clonación no es socialmente aceptable. No hay que olvidar que detrás de la réplica de seres humanos se oculta la eugenesia, por lo que las sociedades deben asegurarse de que se tomen decisiones responsables y nunca precipitadas.

La clonación y la manipulación genética en seres humanos plantea varios problemas, sobre todo en relación al futuro, y al uso que se hará de estas técnicas, no hay duda de que traerá muchos avances y ayudas al mundo, órganos para transplantes, erradicación de enfermedades genéticas, etcétera.

Pero realmente, ¿qué precio pagaremos? : una sociedad de genofobia (discriminación por los genes), una sociedad en la que tendremos hijos a la carta, un futuro en que no sabemos con seguridad a lo que llevará sin duda el mayor descubrimiento de la historia, un universo que apasiona a la vez que da miedo, un poder ilimitado que no sabemos lo próximo que nos deparará.

Muchos ven la clonación como un proceso por el cual el que tuviera dinero podría hacerse una persona a su imagen y semejanza, que viviera para siempre, se convertiría en una especie de inmortalidad, ya que realmente su combinación genética siempre estaría presente.

### **Humano.**

Se trata de un mono de tipo "rhesus", de la misma especie que los animales utilizados en investigación, y ha sido logrado en el Centro de Investigación de Primates de Oregón. "ANDi lleva en su ADN un nuevo gen que, aunque no tiene ninguna función específica, posee fluorescencia, lo que permite a los científicos rastrear su

distribución en la estructura genética del animal.

Aunque el de "ANDi" es simplemente un gen "marcador", otros animales que podrían modificarse genéticamente en el futuro llevarán genes asociados con enfermedades específicas, con el fin de permitir la experimentación sobre esas dolencias.

El cáncer, la fibrosis quística, la enfermedad de Alzheimer, los defectos de nacimiento, las enfermedades coronarias o el sida, entre otros problemas, son algunas de las dolencias que los científicos esperan poder investigar con este tipo de animales.

"Esta investigación -el logro de "ANDi"- rompe una barrera técnica" que existía hasta ahora, ha declarado Duane Alexander, director del Instituto Nacional de Desarrollo Humano y Salud Infantil (NICHD), que ha financiado la investigación.

Hasta el momento, solamente se habían logrado modificaciones genéticas en roedores o animales destinados a mejorar la raza en la ganadería, pero "ANDi" es el primer primate no humano con una diferencia introducida en su carga genética.

Los científicos, coordinados por Gerald Schatten, del centro de investigaciones de Oregón, han utilizado una técnica desarrollada con vacas para modificar los genes del mono.

Según han explicado en la revista Science, primero lograron introducir el nuevo gen en un óvulo no fertilizado de mono "rhesus".

Los óvulos fueron después fertilizados y se logró la preñez de varias hembras, que dieron a luz tres animales.

Uno de esos tres pequeños animales, "ANDi", tenía incorporado el nuevo gen con éxito en su carga genética.

Según Schatten, "ANDi" posee un gen GFP, las iniciales en inglés de proteína fluorescente verde, un químico procedente de las medusas cuya luminiscencia verde puede ser observada mediante microscopios especiales.

En realidad, la introducción de este gen solamente perseguía la finalidad de comprobar que es posible la modificación genética de un animal tan complejo como un mono, cuya estructura genética es la más parecida a la de un ser humano.

"Podremos con la misma facilidad, introducir, por ejemplo, un gen del Alzheimer, para acelerar el desarrollo de una vacuna sobre esta enfermedad", ha explicado el científico Schatten.

El investigador ha precisado que su intención no es crear animales enfermos sino acelerar la cura para algunas dolencias humanas. Sostiene que la modificación genética permitirá incluso usar en investigación menos animales de los que ahora se emplean.

Schatten y el Centro de Investigación sobre Primates de Oregón lograron en enero del pasado año la primera clonación de otro mono de tipo "rhesus", una hembra llamada "Tetra", obtenida por un método natural, diferente del que se usó con la oveja Dolly.

En la actualidad, una corriente de científicos, encabezados por Ajit Varki, del departamento de Medicina de la Universidad de California, apoya el denominado

Proyecto del Genoma del Chimpancé, la obtención de un mapa del genoma de este animal tal como se está haciendo con el genoma humano.

Los chimpancés, que comparten con los seres humanos el 99 por ciento de su carga genética, son inmunes a muchas de las enfermedades que afligen a las personas y conocer su mapa genético podría ayudar a entender esos problemas e incluso a averiguar dónde subyace la verdadera "identidad humana", opina Varki.

**Un "salto cualitativo" el desarrollo del primer mono transgénico. (Europa Press – Madrid).)**

El director del departamento de Genética de la Facultad de Biología de la Universidad Complutense, Juan Ramón Lacadena, ha indicado que la aparición del primer mono transgénico, "ANDi", servirá para hacer un estudio más exacto de las enfermedades humanas, aunque matizó que es necesario que los científicos puedan introducir el gen modificado "donde quieran y no al azar", algo que todavía tardará "mucho" en llegar. En declaraciones a Europa Press TV, Lacadena calificó de "salto cualitativo" la existencia de este mono de Oregón llamado "ANDi", ya que hasta el momento se había experimentado en ratones u ovejas, pero no en primates "con material genético más cercano al humano".

En este sentido, apuntó que los científicos norteamericanos introdujeron en "ANDi" un marcador "puramente anecdótico", pero que en el futuro se espera poder introducir genes humanos que provoquen enfermedades con el fin de poder estudiarlas. Por otra parte, preguntado acerca de la oposición de los defensores de animales hacia estas prácticas, subrayó que una cosa es que se defienda el derecho de los animales y otra prescindir de ellos en una investigación cuyo fin último es conseguir ventajas para la propia medicina. "Soy partidario de que, aunque se utilicen animales se haga en las mejores condiciones posibles, para no despilfarrarlos y para no hacerles sufrir", afirmó Lacadena.

Asimismo, preguntado por cómo se presenta la genética del tercer milenio, Lacadena indicó que cada día aparece "una sorpresa nueva" ya que todas las semanas salen noticias sobre avances genéticos. En este sentido, recordó la secuenciación del genoma humano o los avances en los alimentos transgénicos, "que preocupan en la sociedad porque no se da la información adecuada para que la gente lo entienda".

Finalmente, en referencia a la posible manipulación humana, el director de Genética de la Complutense destacó que la clonación humana, entendida como clonación reproductiva, no se hará nunca, porque "de forma muy mayoritaria, la comunidad científica y la sociedad la rechazan". "Otra cosa es que la técnica de clonación se pueda aplicar a la terapia humana, pero habrá que discutir si éticamente se puede hacer", concluyó.

## Otras Aproximaciones didácticas

### Alfabetización científica CTS y biotecnología

La problemática de la clonación tratado en el punto anterior nos remite a la necesidad de ampliar algunos conceptos didácticos sobre **alfabetización científica, CTS y biotecnología**

#### *Relaciones ciencia – sociedad – escuela*

A lo largo de las últimas décadas ha ocurrido un conjunto de hechos, como el de la clonación, que han generado cambios en las finalidades para la enseñanza de las ciencias y en consecuencia en su currículo:

- El avance acelerado de las ciencias.
- La evolución conjunta de la ciencia y la tecnología y sus interacciones.
- La comprensión de la relación ciencia-sociedad como bidireccional (es decir que se influyen mutuamente y no solo la ciencia y la tecnología son las que repercuten en la sociedad).
- Las razones económicas y políticas que remarcan la necesidad de la participación conjunta de la población en las culturas científicas y tecnológicas para favorecer el desarrollo.
- Las razones sociales que fomentan el desarrollo de una cultura científica y tecnológica de los sistemas democráticos para que no sean vulnerables a las tecnocracias.
- Las razones humanistas, en el sentido de favorecer que las personas puedan formar parte de la cultura científico-técnica para comunicarse en esta sociedad tecnológicamente en progreso y mantener una cierta autonomía.
- La necesidad de todo ciudadano de familiarizarse con la ciencia y la tecnología para tener un lugar en el mundo de hoy.
- Las razones educativas por las que debemos adquirir una visión histórica, epistemológica, ética y comunicacional de la ciencia y la tecnología para comprender su evolución, su alcance y las visiones del mundo compartidas en un período dado.

- Sistemas educativos en crisis que critican: el tipo de enseñanza impartida (transmisiva y sin tener en cuenta los conocimientos previos de los alumnos), la centralización en el control y la evaluación, las condiciones laborales de los profesores, su formación y concepciones, la visión deformada de la ciencia que se enseña (por ejemplo el empirismo, acumulativa y operativa, que no tiene en cuenta aspectos cualitativos históricos, sociológicos, etcétera).
- Programas de ciencias en las escuelas sobrecargados de contenidos muchas veces irrelevantes respecto de los intereses y necesidades actuales.

Todas las problemáticas anteriores han llevado a educadores e investigadores en enseñanza de las ciencias a realizar un replanteamiento de estas disciplinas en el contexto escolar. Se habla así de la necesidad de una **alfabetización científica y tecnológica**. Además, se recomienda la interpretación de los conocimientos científicos en el marco de la relación entre la ciencia, la tecnología y su alcance social, comúnmente llamado **CTS**.

En la reforma educativa de nuestro país, como de otros, se señala entre las principales finalidades para la enseñanza de las ciencias el de la alfabetización científica.

La National Science Teacher Association de los Estados Unidos, define un conjunto de criterios para producir dicha alfabetización (Fourez, 1994).

Una persona alfabetizada científica y tecnológicamente es capaz de:

- Analizar 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 a la sociedad.
- Reconocer tanto los límites 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 las estimulaciones intelectuales que suscitan.
- Comprender que la producción del saber científico depende a la vez de procesos de investigación y de conceptos teóricos.
- 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 la aplicación de las tecnologías y las decisiones implicadas en su utilización.
- Poseer suficiente saber y experiencia para apreciar el valor de la investigación y del desarrollo tecnológico.
- Extraer de su formación científica una visión de mundo más rica e interesante.
- Conocer las fuentes válidas de información científica y tecnológica y recurrir a ellas cuando hay que tomar decisiones.
- Tener una cierta comprensión de la manera en que las ciencias y la tecnología fueron producidas en la historia.

Esta preparación del ciudadano responsable, con capacidad crítica, supone, para el nivel escolar, una modificación del currículo tratando de incluir aprendizajes de destrezas de razonamiento, argumentación y análisis crítico. Las mismas requerirán una selección de contenidos procedimentales y actitudinales que conformen el eje de situaciones didácticas.

En este capítulo particular, el tema de la clonación corresponde a un avance científico tecnológico que debemos incorporar con cuidado en el currículo de biología. Aparece, además, el término de **biotecnología**, el que refiere a una problemática específica de CTS, cuya enseñanza debe orientarse hacia una alfabetización científica.

Debemos tener en cuenta que no solo debemos formar a los alumnos a nivel conceptual sino también actitudinal, para que puedan optar y discernir entre lo que es científicamente viable y lo que es mera opinión.

En general, temas como los anteriores son polémicos, así como el de ADN – desarrollado en el capítulo 1. Dichos temas son adecuados, por ejemplo, para plantear relaciones entre los avances científicos y tecnológicos, de éstos con el bienestar de la sociedad y para recuperar un tipo de discurso y de estrategia cognitiva como es la **argumentación**.

La razón de ser de toda argumentación es exponer un punto de vista, destacarlo y justificarlo, tratando de convencer a uno o varios interlocutores de su valor.

En este módulo del curso tomaremos los dos usos educativos que se le dan a la argumentación. A continuación explicaremos el uso de la argumentación para conformar explicaciones y opiniones sobre un tema polémico. Pero es en el segundo módulo, en función del tema de evolución, explicaremos las características de la argumentación científica.

Actualmente, en todos los niveles de enseñanza crece el interés por implementar estrategias didácticas que permitan la ocurrencia de la argumentación. Sin embargo, como expresan Camps y Dolz (1995), existen algunas cuestiones que inciden en las decisiones de incluir o no la enseñanza del discurso argumentativo. Se preguntan: ¿aceptará la sociedad que confrontemos al alumnado con situaciones polémicas?, ¿puede ser la argumentación contraria a la neutralidad deseable de la escuela democrática?, ¿es éticamente aceptable enseñar en la escuela estrategias para persuadir y, de alguna manera manipular al destinatario? Los mismos autores afirman que justamente la argumentación es lo contrario a aferrarse a un punto de vista y para implementarla hace falta:

1. Reconocer un tema polémico y ser consciente de los diversos puntos de vista que existen sobre él.
2. Discutir los diferentes puntos de vista y los recursos argumentativos posibles para defenderlos.
3. Tener opinión propia sobre el tema discutido.
4. Valorar los argumentos contrarios.
5. Justificar su punto de vista con un conjunto de argumentos adecuados.
6. Utilizar de manera rigurosa y consciente los argumentos.
7. Tratar de desarrollar estrategias para atraer los sentimientos de los otros.
8. Reconocer los argumentos del oponente y saberlos refutar.
9. Aceptar e incorporar algunos de los argumentos del adversario como concesiones.
10. Saber negociar una posición de compromiso.

El decálogo anterior, permite comprender lo que está en juego en las situaciones sociales en la que se vive un conflicto de opiniones. Esto, a su vez, es un “objetivo educativo”.

Aprender a argumentar supone entonces, trabajar con actividades de lectura, observación, comparación, análisis de textos auténticos (publicaciones en revistas, diarios, publicidades, etc.). Los docentes debemos hacer adecuada selección de estos textos y para ello debemos contemplar el interés de los alumnos por el tema; la aceptabilidad del contenido desde el punto de vista ético; que posea recursos y características lingüísticas argumentativas y que brinde la posibilidad de una intervención didáctica.

Por último, diremos que a través de la argumentación los jóvenes no solo canalizan conocimientos, valoraciones individuales y sociales, sino también procesos de razonamiento manifiestos en un tipo de discurso.



## ACTIVIDAD N° 15

1. Revise los aportes didácticos analizados en este capítulo, especialmente los de esta sección sobre la alfabetización científica y el enfoque CTS.
2. Suponga que propone a sus alumnos la siguiente actividad:

Lean los dos artículos sobre monos transgénicos y respondan:

- ¿Qué argumentos, de los presentados en los artículos, están a favor de la “modificación genética” en un ser vivo?
  - ¿Cuáles son los argumentos para justificar su uso en el hombre?
- a) Diseñe una actividad con el objetivo de que sus alumnos confronten los argumentos anteriores para tomar posición a favor o en contra de la clonación.
  - b) Elabore una argumentación relacionada con su posición respecto de tratar estos temas y este tipo de discurso con sus alumnos.
  - c) ¿ En qué medida abordar este tema contribuye a la alfabetización científica de sus alumnos?
3. El análisis anterior le debe haber dado razones para retomar las diferencias de opiniones (expresadas en justificaciones y argumentos) como una actividad válida en el contexto escolar.

## Nuevamente las ideas previas

En esta parte es nuestro propósito ampliar el desarrollo del concepto **ideas previas**, dado que justamente ellas son una de las fuentes principales de problemas en el aprendizaje de las ciencias. De este modo seguimos analizando las características de los componentes de la situación didáctica; en esta oportunidad un rasgo del alumno y su relación con el objeto de conocimiento.

## *El origen de las ideas previas*

En general, las ideas previas están fuertemente arraigadas porque responden a generalizaciones que se hacen luego de establecer regularidades entre las cosas que se viven y se piensan. Son un problema cuando se oponen al conocimiento científico establecido.

¿Cuál es el origen de las ideas previas de los alumnos que funcionan como ideas alternativas a las que les presentamos en el aula?

Como usted ya sabe el alumno llega al aula con un conocimiento conceptual, actitudinal y procedimental referido a su mundo cotidiano y a sus experiencias diarias, lo que le permite dar sentido a lo que piensa y hace. En cambio, nosotros le presentamos un conocimiento académico, con referencia a uno científico, que corresponde a otra realidad temporal y espacial. Por ejemplo, le enseñamos procesos evolutivos que ocurren a lo largo de mucho tiempo o modelos moleculares que debe imaginarse. Son dos niveles de realidad diferentes.

Como expresan Pozo y Gómez Crespo (1998), *“Solo una relación entre estos diferentes niveles de análisis de la realidad, basada precisamente en su diferenciación, puede ayudar a los alumnos a comprender el significado de los modelos científicos y, desde luego, a interesarse por ellos. Para esto es necesario comprender cómo se acercan los alumnos a ese mundo de objetos y personas que se agitan a su alrededor, mostrando que ese acercamiento requiere no solo procedimientos y actitudes, sino también conceptos bien diferentes de los que requiere el aprendizaje de las ciencias.”*

Los mismos autores señalan tres orígenes diferentes de las ideas previas: *sensorial, cultural y escolar*.

### *Origen sensorial*

El hombre tiene la capacidad de predecir y controlar los sucesos de la vida y desde niño va generando conocimientos a partir de sus sensaciones. Así establece relaciones de semejanza entre causa y efecto. Por ejemplo, si ve a algún niño muy parecido a un adulto pensará que los une un parentesco. También se pueden establecer relaciones entre las causas y los efectos porque dos cosas están contiguas en el espacio o en el tiempo. En el primer caso, pensar que si un animal tiene aletas vive en un medio acuático, en el segundo caso, saber que si a una persona la verá dentro de mucho tiempo estará más vieja, o quizás pensar que si las aves actuales vuelan mejor es porque son especies más evolucionadas. Otra manera de construir conceptos desde las sensaciones o vivencias cotidianas es por covariación. Es el caso de pensar como idea previa, que mientras más pase el tiempo o más espacio hay, mayor es la diversidad de animales que se encontrarán.

De esta manera vamos elaborando de una forma intuitiva nuestras propias explicaciones de cómo funciona el mundo.

### *Origen cultural*

Son aquellas ideas que incorporamos porque están presentes en nuestro entorno social y cultural, por ejemplo las creencias. Como vimos, el sistema educativo no está apartado de esta influencia, basta pensar las preguntas sobre diferentes temas con que llegan los alumnos al aula, como ser clonación.

Se transmiten y difunden, principalmente a través de los medios de comunicación, modelos o formas de pensar sobre determinadas cosas que originan concepciones alternativas. Por ejemplo, las ideas sobre contagio o transmisión de enfermedades o la necesidad de no romper la cadena de frío en los alimentos, entre otras.

Los alumnos incorporan así a sus conocimientos explicaciones simplificadas del conocimiento científico, incorrectas, o simplemente términos sueltos.

Este origen de ideas previas, es entonces más lingüístico y cultural que el que vimos anteriormente. En biología esta es una de las fuentes más frecuentes de ideas previas, ya que actualmente los conocimientos de esta disciplina son culturalmente significativos y están muy próximos a las vivencias cotidianas de la gente. Tomemos cualquier periódico o revista y encontraremos comentarios sobre salud, enfermedad, nutrición, reproducción, medio ambiente, clima, extinción, etcétera.

Quizás hasta haya demasiada información que satura la capacidad de comprensión de la gente. A su vez esta se presenta poco organizada o queriendo manifestarse como un conocimiento científico, faltándole a veces coherencia o rigurosidad. Es la escuela la que debería **reinterpretar esa información para reconstruir el saber cultural** de los alumnos y evitar que no pueda poner filtros adecuados a lo que recibe de su medio social y cultural.

Por ello, a lo largo de este módulo le hemos recomendado la lectura de algunos artículos que poseen información no tergiversada de los temas que estamos viendo.

### *Origen escolar*

Muchas veces la escuela también es fuente de ideas previas, por ejemplo al diseñar un conocimiento académico que modifica el verdadero significado del conocimiento científico.

Cuando un docente enseña un tema intenta simplificarlo para ser comprendido y a veces no controla si sus alumnos se quedaron solo con esa simplificación.

Es necesario que ellos comprendan que la aproximación al conocimiento científico requiere de procedimientos particulares diferentes del cotidiano. Además, aunque el docente recurra inicialmente a estos últimos, solo deben ser usados como una plataforma de despegue y no entenderlos simplemente por analogía.

### *En síntesis*

Cualquiera sea el origen de las ideas previas, las mismas son el resultado de un proceso cognitivo que intenta dar sentido a un mundo definido por las relaciones entre los objetos físicos, los sistemas biológicos, las relaciones sociales y las culturales. Por ello no es fácil desplazarlas ya que conforman parte de lo que es el sentido común y también de las tradiciones culturales.

### *Las analogías*

En la escuela, algunos conceptos nuevos se relacionan con los previos (de origen sensorial o socio-cultural) en función de **analogía**.

En estos casos las ideas previas no son el anclaje de una idea nueva sino que la usamos como una estrategia que por comparación análoga nos sirve para construir otra.

Así como las analogías son usadas para el razonamiento científico, también lo son para la enseñanza de las ciencias.

Es común escuchar en las clases de ciencias decir “es como”, “es lo mismo que”, “no es diferente de”. El proceso de relacionar conceptos por sus significados análogos es parte fundamental del pensamiento humano y los docentes hacen uso de ello.

De esta forma se usan en la instrucción como organizadores previos, visiones generales o para hacer introducciones o aclaraciones al margen.

Ellas pueden referirse tanto a contenidos conceptuales, como procedimentales o actitudinales.

Estrictamente hablando, una **analogía** es un proceso de identificación de similitudes entre dos cosas diferentes. Usted podrá encontrar que se habla de analogías o metáforas como sinónimos, esta última se encuentra más en el contexto literario.

Lo importante al usarlas es que la correspondencia entre lo que se compara, sea lo más precisa posible.

Por ejemplo, en biología es frecuente establecer una analogía entre la cámara de foto y el ojo humano.

La analogía es diferente de un ejemplo, porque este es solo una manifestación del concepto, en cambio **la analogía compara las características similares entre dos conceptos.**

El poder explicativo y hasta predictivo de la analogía aumenta a medida que se comparten más características entre los objetos, conceptos o procesos comparados. La finalidad es usar términos o procedimientos con los que el alumno está familiarizado para comprender otros nuevos.

Lo importante es que no sea lo análogo lo que se fija en la comprensión, sino que una vez desaparecida ésta, lo que se comprenda y recuerde sea el concepto.

### *Las ideas previas sobre la reproducción*

Podemos visualizar en el aula concepciones sobre reproducción que los alumnos han construido porque han visto un animal, pero no pueden imaginar que ocurre lo mismo en las plantas, menos aún que esa estrategia reproductiva influye en la supervivencia de la especie.

Pero estas ideas tienen **diferentes niveles de complejidad**. En el nivel más superficial y que podemos detectar -a través de una pregunta directa al alumno, una tarea o un problema-, se hallan las creencias, predicciones, juicios, interpretaciones, etc., que el alumno realiza respecto de las situaciones y tareas a las que se enfrenta. En general, están asociadas a un contexto particular.

Por ejemplo, si le preguntamos ¿por qué creen que los hijos son parecidos a los padres? Seguramente responderán que hay algo que se transmite de uno a otro. Otro nivel, más complicado de detectar, es cuando las ideas previas se refieren al modelo explicativo del alumno (no a algunas ideas sueltas) y que son realmente una alternativa conceptual del conocimiento científico.

Otro ejemplo es darnos cuenta, a través de diferentes actividades, que lo que el alumno no tiene bien construido es la teoría celular o las teorías sobre división celular y reproducción. Estas son difíciles de hacer explícitas solo a través de una pregunta, ya que requieren tomar conciencia de diferentes representaciones que se activan en distintos contextos.

No obstante debemos hacer dos aclaraciones: por un lado, dentro de un mismo sujeto pueden coexistir diferentes teorías para un mismo ámbito conceptual y, por el

otro, que cambiar una teoría implícita incorrecta lleva mucho tiempo, continuidad y coherencia en la organización del proceso de enseñanza destinado a tal fin. Por ejemplo, si solamente enfrentamos a los alumnos con la idea científica de evolución en dos clases del nivel polimodal no servirá de mucho, diferente será que la perspectiva evolutiva esté presente desde que estudiamos diversidad, adaptaciones, ciclo celular, reproducción, es decir, utilizar la evolución como enfoque o eje.

Tanto en este capítulo 3 como en los anteriores, le hemos presentado una serie de actividades que buscan implementar un modelo de transposición constructiva, que contempla las ideas previas de los alumnos. Por ejemplo cuando problematizamos los contenidos provocamos una relación del alumno con el objeto de conocimiento diferente de la habitual, ya que para resolverlo debe recurrir a sus conocimientos previos y cuando se va acotando el problema y va encontrando respuestas, lo que en realidad los docentes estamos haciendo es contextualizando el proceso en el marco de la ciencia convencional. Es decir, tratando de que tanto desde lo metodológico como desde lo conceptual, la formulación del problema y la búsqueda de su respuesta tenga una lógica similar a la que usa la ciencia. Obviamente esto nos aparta de una metodología puramente transmisiva.

Si retomamos el esquema síntesis sobre la transposición del conocimiento y los niveles de concreción del currículo, a la luz de las explicaciones que hemos desarrollado en esta parte, es necesario aclarar que otro de los condicionantes de la enseñanza son los niveles de concreción que ha sufrido el currículo, ya que en ellos también se han tomado decisiones sobre el modelo de enseñanza a implementar.

### *A modo de cierre: para integrar y seguir avanzando*

A lo largo de este capítulo hemos desarrollado un conjunto de temas sobre la estructura y los cambios en la información genética a nivel del individuo, por ello surge **los ciclos** como conocimiento nuevo. Se integra así una variable temporal muy importante a la hora de comprender la dinámica en la naturaleza. De esta forma integra los procesos que se vieron en el capítulo anterior en el individuo, especialmente la meiosis con la formación de las gametas.

Pero tal vez, lo que puede resultar más interesante de este tema es la posibilidad que tiene de poner en evidencia las relaciones con Ciencia, Tecnología y Sociedad. Por ejemplo, podemos trabajar en relación con los temas curriculares de la biología de la reproducción, la fertilización artificial, así como la anticoncepción y todo lo relacionado con la educación sexual en general.

En clase se puede abordar primero lo biológico, integrando como decíamos la meiosis con la formación de las gametas, la formación de una nueva célula con características del padre y la madre y la diploidía; y luego integrar aspectos tecnológicos tales como los adelantos en fertilización. Finalmente, propiciando el uso de las estrategias argumentativas se puede organizar un debate entre las posturas que genera este tema o invitar a profesionales que hablen de congelamiento de gametas, embriones, etcétera. Todos estos temas están en el contexto socio-cultural de los alumnos y despiertan en ellos mucho interés.

Por otro lado hemos cerrado una parte de los fundamentos didácticos relacionados con los modelos de enseñanza. Nos quedan por desarrollar las diferentes estrategias para llevarlos al aula en el marco del diseño de una unidad didáctica, aunque ya hemos avanzado con algunas características.

En el siguiente capítulo, el 4, instalaremos el problema de transmisión de la información genética de una generación a otra, para llegar a discutir qué sucede a nivel poblacional.

Desde la didáctica, en el capítulo 4, incursionaremos en el diseño de la unidad didáctica y por ende en los criterios para seleccionar y organizar los diferentes elementos que la componen.

### **Para seguir pensando...**

*Si quieres aprender algo, léelo.*

*Si quieres conocer algo, escríbelo.*

*Si quieres dominar algo, enséñalo.*

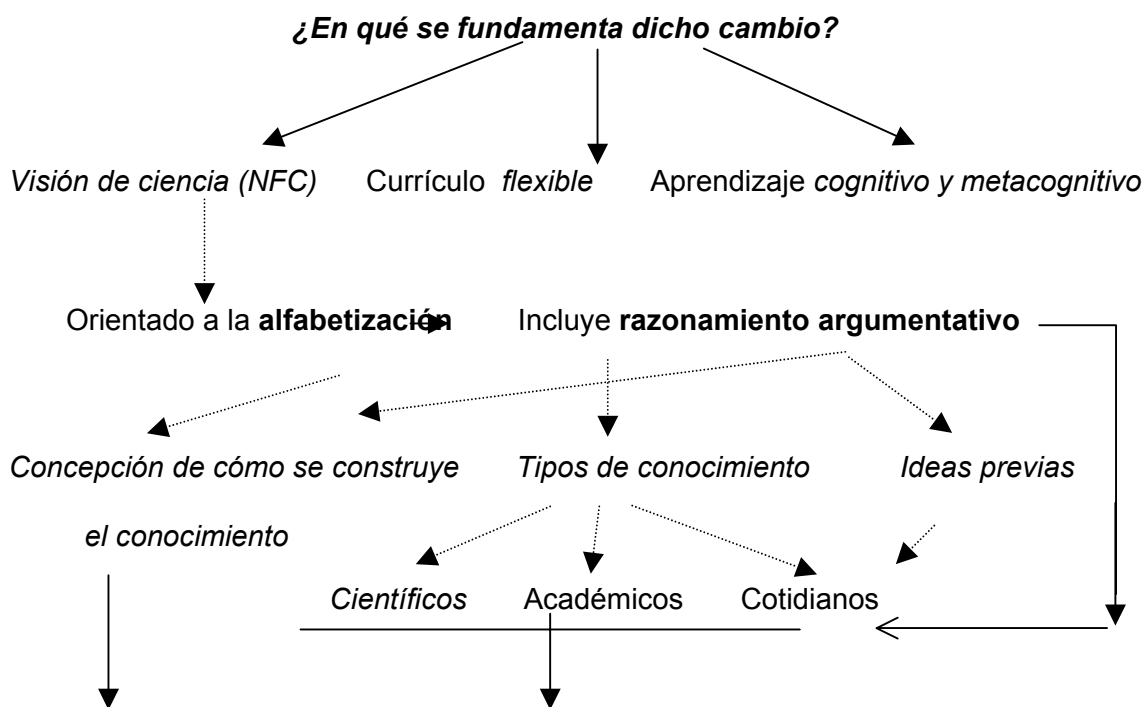
**Yoghi Bhajan**

## El rol docente según el modelo de enseñanza

Podemos hacer una síntesis de los aspectos didácticos desarrollados hasta aquí retomando y completando el diagrama presentado en el capítulo anterior (2). En el mismo se remarca una de las finalidades del currículo de ciencias, como es la alfabetización científica analizada en el punto anterior (3.3.1). La misma indica que uno de los aprendizajes esperados es el razonamiento argumentativo, que puedan servir para revisar las ideas previas e incorporar a los conocimientos cotidianos y académico el lenguaje y la forma de razonamiento de las ciencias.

### ¿Qué cambia?

**Una enseñanza tradicional por** —————> **enseñanza constructivista**



### ¿Qué resulta?

**Una Didáctica renovada para las Ciencias y un replanteamiento de la enseñanza de estas disciplinas en el contexto escolar. Búsqueda de la alfabetización científica y tecnológica.**

Otro aspecto que queremos retomar para hacer algunas aclaraciones, y así completar el desarrollo sobre los componentes de la situación didáctica, es el rol mediador del docente, pero ahora en el contexto de la transposición didáctica.

*¿Cambia el rol del docente acorde con la transposición que provoca a partir del modelo de enseñanza que elige?*

Antes de comenzar, le solicitamos que revise los dos modelos de enseñanza presentados en el comienzo del capítulo 2 y que en algunos aspectos aparecen sintetizados en el diagrama anterior. Repase también los conceptos de transposición dados al comienzo de este capítulo 3.

Verá que a la dinámica del triángulo formado por la relación docente-alumno-objeto de conocimiento del esquema que aparece en el comienzo de este capítulo (3), se suman las **mediaciones** provocadas por el docente, los alumnos, las características del objeto de conocimiento y el contexto.

De esta forma en la ocurrencia de una situación de clase influyen:

el docente, su práctica concreta, sus conocimientos previos, los significados que atribuye, su discurso, el lenguaje y comportamientos expresados tanto en lo que dice y hace como en lo que calla o niega;

las concepciones, motivaciones, conocimientos, habilidades cognitivo-lingüísticas, etc. de los alumnos;

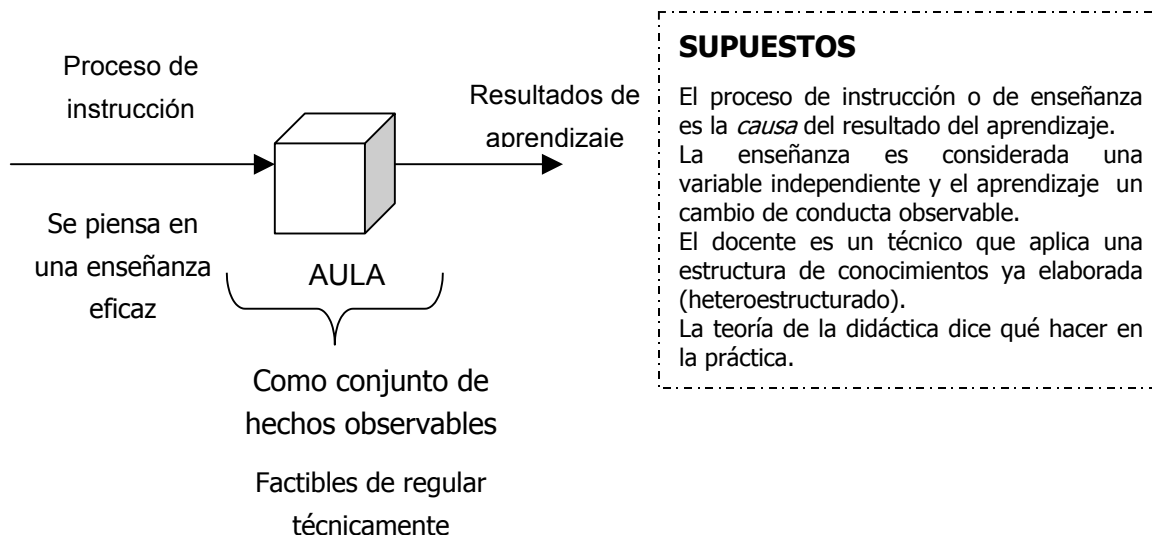
del objeto de conocimiento; su epistemología y diseño curricular y

desde la institución; el sistema de control, los recursos, las condiciones edilicias, etcétera.

A continuación enriqueceremos la descripción anterior desde las dos perspectivas didácticas opuestas, lo hacemos porque creemos que detrás de toda decisión del docente ya sea en la etapa de diseño, en la implementación o en la evaluación de este, subyacen concepciones que es necesario explicitar para tener más claridad al analizar lo que pasa en cada clase.

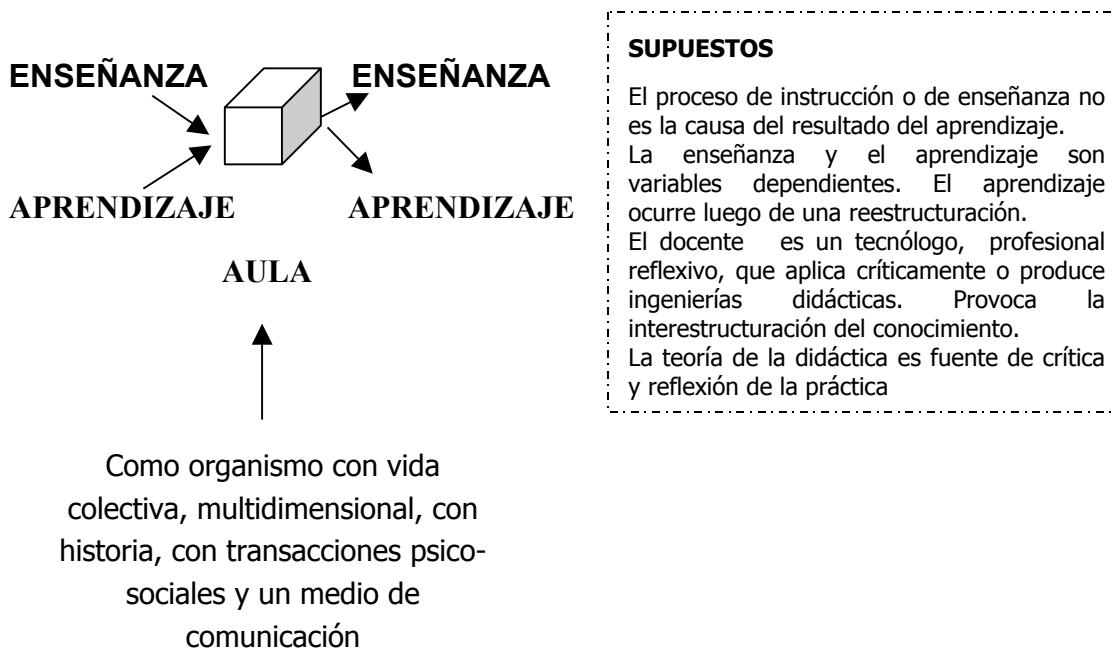
Por un lado hay una didáctica normativa que propone **modelos de enseñanza como el de transmisión-recepción**. A continuación le presentamos un esquema donde se indica qué entra y qué sale del aula en las situaciones de enseñanza y aprendizaje. Además cómo ve el didacta el aula y cuáles son los supuestos que están detrás de sus análisis.

## Modelo



En este caso, estamos pensando el aula como un sistema cerrado donde ingresa un nuevo conocimiento, no sufre transformaciones y es copiado por el alumno, quien debe repetir lo que el docente o el libro dicen. En estos casos se evalúa la eficacia del docente acorde con el resultado de aprendizaje de los alumnos.

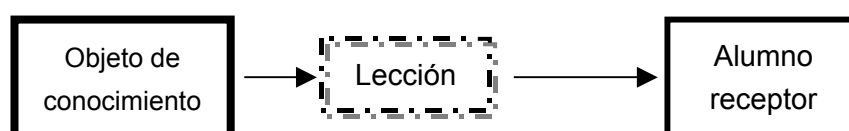
Desde una didáctica reflexiva e investigativa, como la que proponemos en este módulo, se defienden los **modelos de enseñanza de tipo constructivista**.



En este segundo caso al aula es un sistema abierto donde se transforma tanto el conocimiento como los significados que le dan el docente y los alumnos. El conocimiento que se construye toma características particulares en cada alumno y en cada grupo, acorde con las interacciones y negociaciones que ocurran. En estos casos la evaluación es integrante de todo el proceso y se analizan principalmente las interacciones, las actividades y la lógica del desarrollo del contenido.

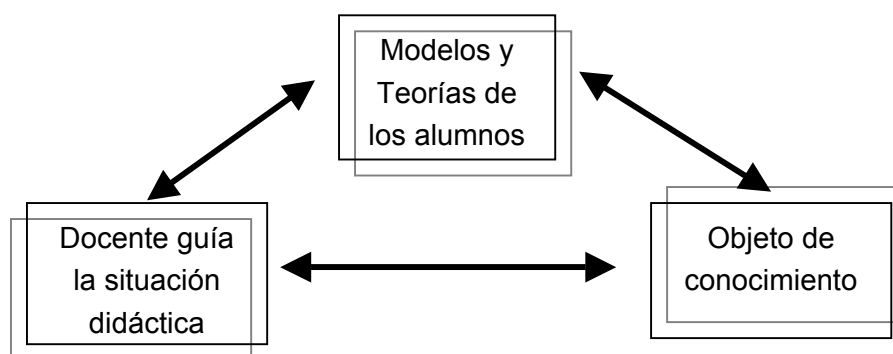
Como vemos el conocimiento "a enseñar" sufre un proceso de selección y organización que depende no solo del tipo de contenido que enseñemos (criterios lógicos), de las posibilidades de aprendizaje de nuestros alumnos (criterios psicológicos), de la realidad socio-institucional (criterios socioculturales), sino también del modelo de enseñanza elegido. De acuerdo con esta elección la transposición de los conocimientos ocurrirá de maneras diferentes.

En el modelo de "transmisión - recepción" el objeto de conocimiento científico se desglosa en una lección con un orden predeterminado, el que es impuesto al alumno.



Aquí se generan situaciones de clase en las que, por ejemplo, el docente explica todo un tema y luego en la evaluación les solicita el mismo análisis o secuencia. Sirven de ejemplo para este caso los diálogos con finalidad evaluativa que comentábamos al comienzo del capítulo.

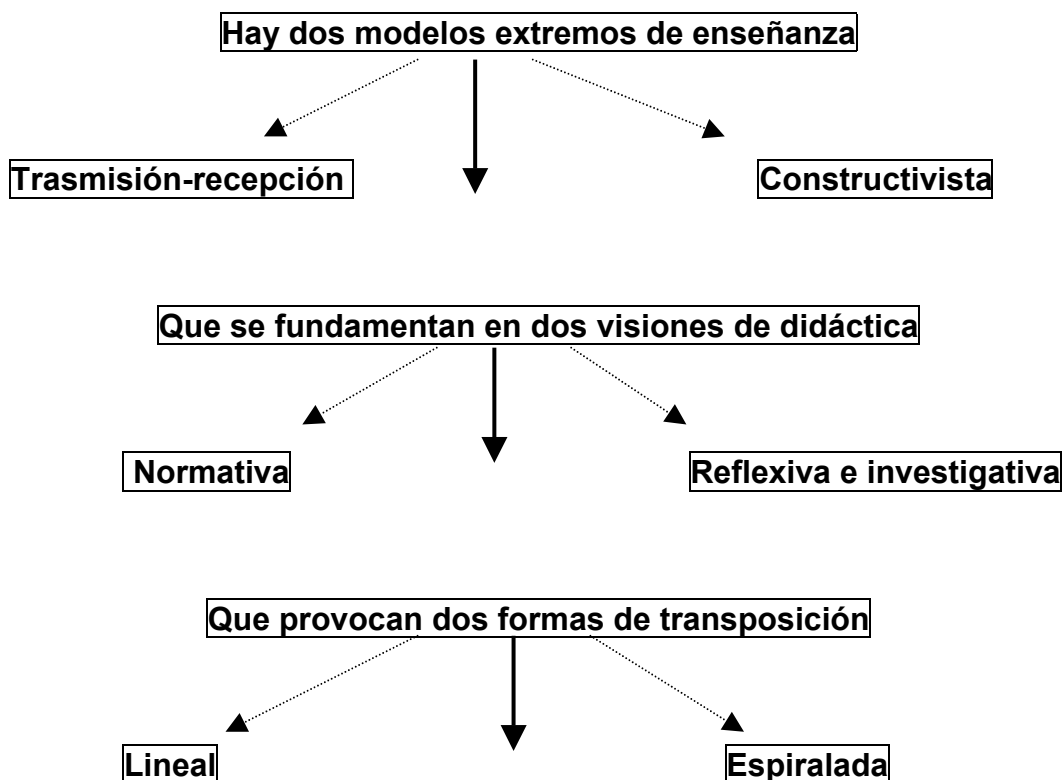
En el otro extremo, la propuesta constructivista parte de los modelos y teorías del alumno -formuladas con relación al campo de la experiencia y de los conocimientos previos-, crea un sistema de análisis y de referencia desde la situación de clase, la cual guía la evolución del conocimiento del alumno hacia el conocimiento científico.



Así, el conocimiento realmente enseñado está determinado en parte por las reacciones de los alumnos, que regulan la interacción por ejemplo, a través de sus

ideas previas. Por ello, cuando la transposición llega a la delimitación del conocimiento académico en las situaciones didácticas, es necesario tener en cuenta la participación del alumno en su definición.

Sintetizando los aspectos anteriores y lo visto sobre ellos en el capítulo 2 podemos decir que:



Que se manifiesta en dos tipos de clases diferentes con distintos roles para: el objeto de conocimiento, los contextos, los alumnos y el docente.

Desde un modelo en un extremo hasta el otro, en el opuesto, hay un gradiente, le dejamos a usted la inquietud de revisar en qué punto de ese gradiente se ubicaría.

## Actividad de integración



### ACTIVIDAD N° 16

Le solicitamos la siguiente tarea porque el primer paso para poder seleccionar y organizar los contenidos a enseñar, es ubicarnos en el nivel de concreción del currículo en el que nos encontramos, analizar críticamente las selecciones previas y generar fundamentos para nuestras propias decisiones. Por supuesto, decisiones que tendrán en cuenta condicionantes de las diferentes variables que componen la situación didáctica. Creemos que este tipo de tarea reflexiva le permitirá una integración de los contenidos didácticos y disciplinares desarrollados en el módulo, aunque no le solicitemos que revise específicamente ninguno de ellos.

Como seguramente usted sabrá, los contenidos específicos para la educación polimodal en cada una de las cinco modalidades, tienen que ver con dos aspectos de la formación:

**Formación General de Fundamentos (FGF)**, de la cual se espera formalización de conceptos básicos, adquisición de una visión integrada de los fenómenos naturales, reflexión sistemática sobre la producción del conocimiento científico y capacidad de investigación centrada en la resolución de problemas del mundo natural.

Por otro lado, la **Formación Orientada (FO)** pretende preparar para la incorporación activa al mundo del trabajo y la continuación de estudios superiores. (“aprender a aprender, emprender, trabajar, encontrar trabajo”).

De este modo, se opta por un currículo abierto, donde los profesores deben tomar decisiones para establecer el proyecto institucional (PEI), los programas y las unidades didácticas (UD), de modo de concretar la propuesta oficial acorde a su realidad.

Analice los objetivos para la modalidad elegida por su escuela o para una escuela a su elección. Relacione la modalidad de la escuela elegida con los objetivos para la FGF y FO correspondientes.

Luego retome el proyecto Institucional de la escuela (donde dé clases de genética y evolución o de la que ha elegido para el ítem anterior) e identifique cómo aporta desde el diseño curricular de su materia a los logros esperados para esa modalidad y para el PEI.

Analice los materiales dados por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología Nacional (y provinciales, si los hubiere) para la educación Polimodal en Ciencias Naturales, retome el marco teórico desarrollado hasta ahora e identifique el modelo de

enseñanza que permitiría llevar esta propuesta al aula. Además, identifique para cuáles de los contenidos de biología se propone una análisis desde la relación CTS.

Si usted está trabajando en una escuela donde comparte con otros docentes la tarea de enseñar los contenidos del área de Ciencias Naturales, le proponemos que invite a sus compañeros a realizar esta actividad en conjunto. Creemos que de este modo se enriquecerá su propio aprendizaje y también es posible que se genere una valiosa discusión alrededor del PEI.

## Actividades de autoevaluación



### ACTIVIDAD N° 1

Como hemos visto en este capítulo la situación didáctica es compleja y está condicionada por múltiples factores

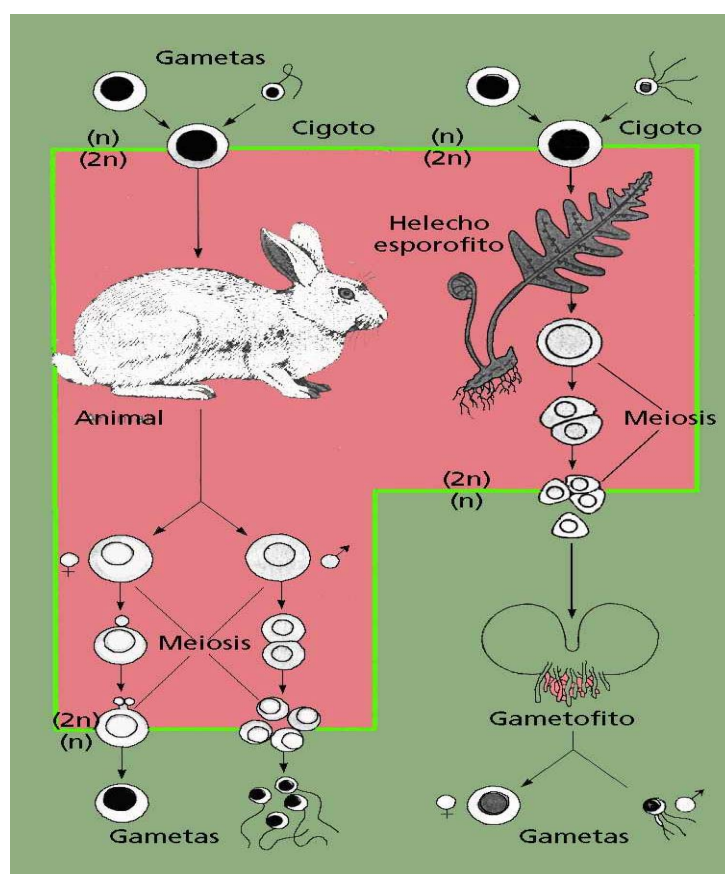
- ¿Cuáles son ellos?
- ¿Cómo revertir el efecto desfavorable de la transposición del conocimiento?



### ACTIVIDAD N° 2

Analice y compare las siguientes figuras sobre ciclos biológicos donde se integran los procesos de mitosis, meiosis, reproducción sexual y reproducción asexual. Establezca semejanzas y diferencias entre estos ciclos y diga a qué tipo de organismo corresponden: haplonte, diplonte o haplodiplonte.

Comparación de ciclos biológicos de un vertebrado y un helecho



**ACTIVIDAD N° 3**

El éxito de la reproducción sexuada en el proceso evolutivo queda demostrado por su presencia desde niveles muy simples de complejidad de los organismos, como las levaduras, que son seres unicelulares, hasta los grupos de mayor complejidad de animales y plantas. No obstante persiste la asexualidad en varios grupos de animales y en las plantas. Al respecto conteste:

- a) ¿Por qué aún hay animales que mantienen el tipo de reproducción asexual? Cite ejemplos.
- b) ¿Cuál fue la tendencia en animales en cuanto a la reproducción? ¿A qué estuvo ligada?
- c) ¿Por qué las plantas mantienen la reproducción asexual?

**ACTIVIDAD N° 4**

Lea nuevamente el texto: La clonación, ¿un método de reproducción asexual?

Extraiga los conceptos que se incluyen en el mismo y relaciónelos a través de un diagrama conceptual.

Cree usted que la clonación es una forma de reproducción asexual? Fundamente.

## Claves para las respuestas de las actividades de autoevaluación



### ACTIVIDAD N° 1

- a) Las condicionantes de la situación didáctica tienen que ver principalmente con:

El docente: su formación, concepciones, pensamientos, actitudes, acciones, modelo de enseñanza que implementa, forma en que produce la transposición del conocimiento.

Los alumnos: sus concepciones, pensamientos, acciones, ideas previas, referentes cognitivos, conocimientos cotidianos y académicos que forman parte de sus explicaciones.

El objeto de conocimiento científico: su lógica, su selección y organización, su forma de construcción. Manera en que queda presentado en el conocimiento académico (a enseñar y enseñado)

Los contextos: situacionales (recursos, escuela, etc.), lingüísticos (códigos, referentes) y mentales (redes semánticas, afectividad, procedimientos, etc.)

- b) Se puede revertir volviéndole a dar historia, personalidad y contexto. Es decir recuperando la forma en que se construye ese conocimiento en ciencias y creando actividades que intenten trasladar ese proceder ya sea en forma experimental o no. Acompañando las actividades con intervenciones adecuadas como el planteo de preguntas, de argumentaciones, de explicaciones y justificaciones.



### ACTIVIDAD N° 2

El análisis se refiere a lo siguiente: Conejo: organismo diplonte. Luego de la fecundación el cigoto  $2n$  resultante por mitosis sucesivas y procesos de diferenciación forma el cuerpo del organismo formado por células diploides. En las gónadas del macho (testículo) y de la hembra (ovario) por meiosis se formarán las gametas haploides que luego al fecundarse formarán un nuevo cigoto  $2n$ .

Helecho: organismo haplodiplonte. Lo que llamamos normalmente como helecho, es el esporófito formado por células diploides donde se formarán por meiosis esporas haploide. A partir de estas esporas haploides se originará el gametofito haploide, en el

cual se diferenciarán las gametas haploide que luego por fertilización formarán el cigoto diploide que por mitosis sucesivas originará un nuevo esporófito.

**Semejanzas:** ambos organismos se reproducen sexualmente, participando gametas. En ambos las gametas femeninas son células inmóviles y las masculinas son móviles.

**Diferencias:** en el conejo por meiosis se forman las gametas, en el helecho por meiosis se forman las esporas, células asexuales. En el conejo la haplofase solo está representada por las gametas, en el helecho hay dos fases, la diplofase, representada por el esporófito, y la haplofase, representada por el gametofito. En el conejo la fecundación es interna, en el helecho es externa y para ello requiere de humedad.



### ACTIVIDAD N° 3

La persistencia de la asexualidad en algunos animales está asociada al modo de vida, y a la organización y complejidad del organismo. Por ejemplo, persiste en organismos sencillos como los poríferos, hidras que son acuáticos y sésiles,. También en organismos solitarios y parásitos como el caso de los caracoles y las tenias.

En los animales, la tendencia fue hacia la sexualidad con distintas estrategias dependiendo de la forma de vida. La fecundación comenzó a ser externa y conforme los organismos conquistaron el ambiente aeroterrestre se pasó a la fecundación interna. Justamente entre los vertebrados los anfibios no pudieron conquistar definitivamente la tierra por su dependencia del agua para fecundarse.

La reproducción asexual en las plantas esta asociada a su inmovilidad. La formación de esporas les permite diseminarse.



### ACTIVIDAD N° 4

Los conceptos que aparecen en el texto y que usted debería relacionar son: duplicación del ADN, ciclo celular, Interfase, reproducción asexual, clon, animales transgénicos, diferenciación celular. Para armar el diagrama puede orientarse con la Figura sobre Clonación de la Oveja Dolly que aparece relacionada al texto.

## **Bibliografía**

### **Bibliografía didáctica**

Arsac G., Develay M. y Tiberghien A., La Transposición Didactique en mathematiques, et en Physique, en Biologie. Grenoble, IREM, LIRDIS, 1989.

Baker, J. y Allen, G., Biología e investigación científica. México, Fondo Educativo Interamericano, 1982.

Camps, A. y Dolz, J., Enseñar a argumentar: un desafío para la escuela actual. Comunicación, lenguaje y educación 25: 5-8, Madrid, 1995.

Candela, A., Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso. México, Paidós Educador, 1999.

Chevallard Y., La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado. Bs. As., AIQUE, 1991. (Traducción de CHEVALLARD, Y., La Transposición Didactique, del conocimiento erudito al conocimiento enseñado. Grenoble, La Pensée Sauvage, 1985.)

Del Carmen L. (coord.), Cuadernos de formación de profesores; Educación secundaria. Barcelona, Universidad de Barcelona, ICE/HORSORI, 1997.

Fourez G., Alfabetización Científica y Tecnológica. Bs, As., Ediciones Colihue, 1994.

Gil Pérez, D., Gavidia Catalán, V., Sanmarti, N., Caamaño Ros, A., Albadejo, C., Jimenez, M., Barral F., Propuestas de secuencia: Ciencias de la naturaleza. Ministerio de educación y Ciencias. Madrid, Escuela Española, 1993.

Mauri, T., Solé I., Del Carmen, L. y Zabala, A., Cuadernos de Educación: El currículum en el centro educativo. Barcelona, ICE-HORSORI, 1993.

Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. Aprender y enseñar ciencias. Madrid, Morata, 1998.

Revista Cultura y Educación, Monográfico sobre argumentación. Nº 25, Ed. Edisa, Madrid, 1995.

### **Bibliografía Disciplinar**

Ausderik, T., Ausderik, G. & Byers B., *Life on the Earth*. Nueva Jersey, Prentice Hall, 2000.

Campbell, N., *Biology*. California, The Benjamin/Cumming Publishing Co. Inc., 1996.

Castro, R.J., Andel, M., & Rivolta, G.B., *Actualizaciones en Biología*. Bs. As., Eudeba, 1994.

Curtis, H. & Barnes, N., *Biología*. Bogotá, Ed. Médica Panamericana, 2000.

Hickman, R., *Zoología, Principios Integrales*. Madrid, Editorial Interamericana, Mc Graw Hill, 1990.

Starr, C. & Taggart, R., *Biology, The unity and diversity of Life*. California, 9<sup>th</sup> ed. Wadsworth Publ. Co., 2001.

Villé, C., *Biología*. México, 8va Edición, Editorial Interamericana, Mc Graw Hill, 1996.

Villé, C., Solomon, E., Berg, L., Martin, D., *Biología*. México, Interamericana, Mc Graw-Hill, 1996.

Weisz, P., *La Ciencia de la Biología*. Barcelona, 5ta edición, Omega, 1994.

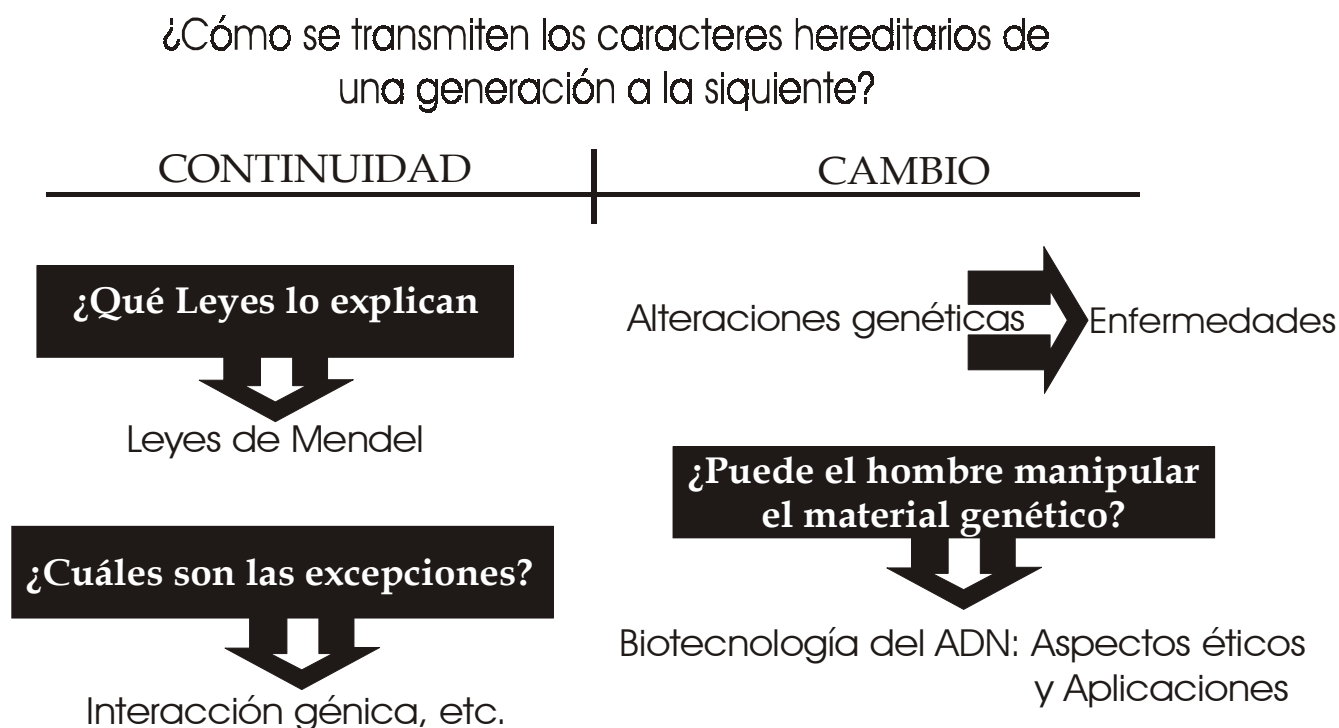
## Capítulo 4: La transmisión de las características hereditarias

### Introducción

*De tal palo, tal astilla.*

**Anónimo**

En los capítulos anteriores hemos tratado la pregunta relacionada con la estructura de la información genética, tanto a nivel molecular como celular o individual. Comenzaremos ahora con la etapa referida a **cómo se transmiten los caracteres hereditarios de una generación a la siguiente**. La respuesta al anterior interrogante la seguiremos organizando en función de los aspectos estables y los cambiantes, como se muestra en el siguiente esquema:



Desde las consideraciones didácticas se ha presentado hasta ahora un panorama de las discusiones iniciales para la enseñanza de las ciencias y de la

biología en particular. Por ejemplo, dimos respuestas a los interrogantes de la apertura referidos a la visión de ciencia y modelos de enseñanza, al conocimiento en el aula y a la organización del currículo, así como algunas estrategias particulares desarrolladas en función del contenido presentado. En el presente capítulo integraremos las conceptualizaciones anteriores a través de los saberes de un profesor de ciencias, el diseño de las unidades didácticas y comenzaremos a realizar la transferencia de estos temas, hacia el final del capítulo, en los criterios sobre selección de objetivos y selección y organización de contenidos.

## Aproximaciones didácticas

### Las competencias del docente

Al tomar decisiones para preparar una clase surgen un conjunto de preocupaciones compartidas por muchos docentes y que podemos ejemplificar mediante las siguientes preguntas: ¿Qué contenidos incluyo? ¿Por dónde comienzo? ¿Qué actividades planteo?, etcétera. El común denominador de todas ellas está relacionado con el diseño o planificación del conocimiento “a enseñar”.

Dichas decisiones tienen sus fundamentos, como venimos analizando desde los capítulos anteriores, tanto en las características del objeto a enseñar (en nuestro caso una ciencia como la biología), como en las posturas respecto de la enseñanza y el aprendizaje de dicho objeto. Algunos autores asocian estos saberes a *competencias* que debería desarrollar el profesor, llamando a las primeras competencias científicas y a las segundas competencias didácticas.

Un didacta de la Física, Gil Pérez (1991), realiza un conjunto de críticas a la formación y actuación de los docentes de ciencias y sostiene que un proceso de formación docente debe comenzar conectando a los profesores con sus ideas, comportamientos y actitudes sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

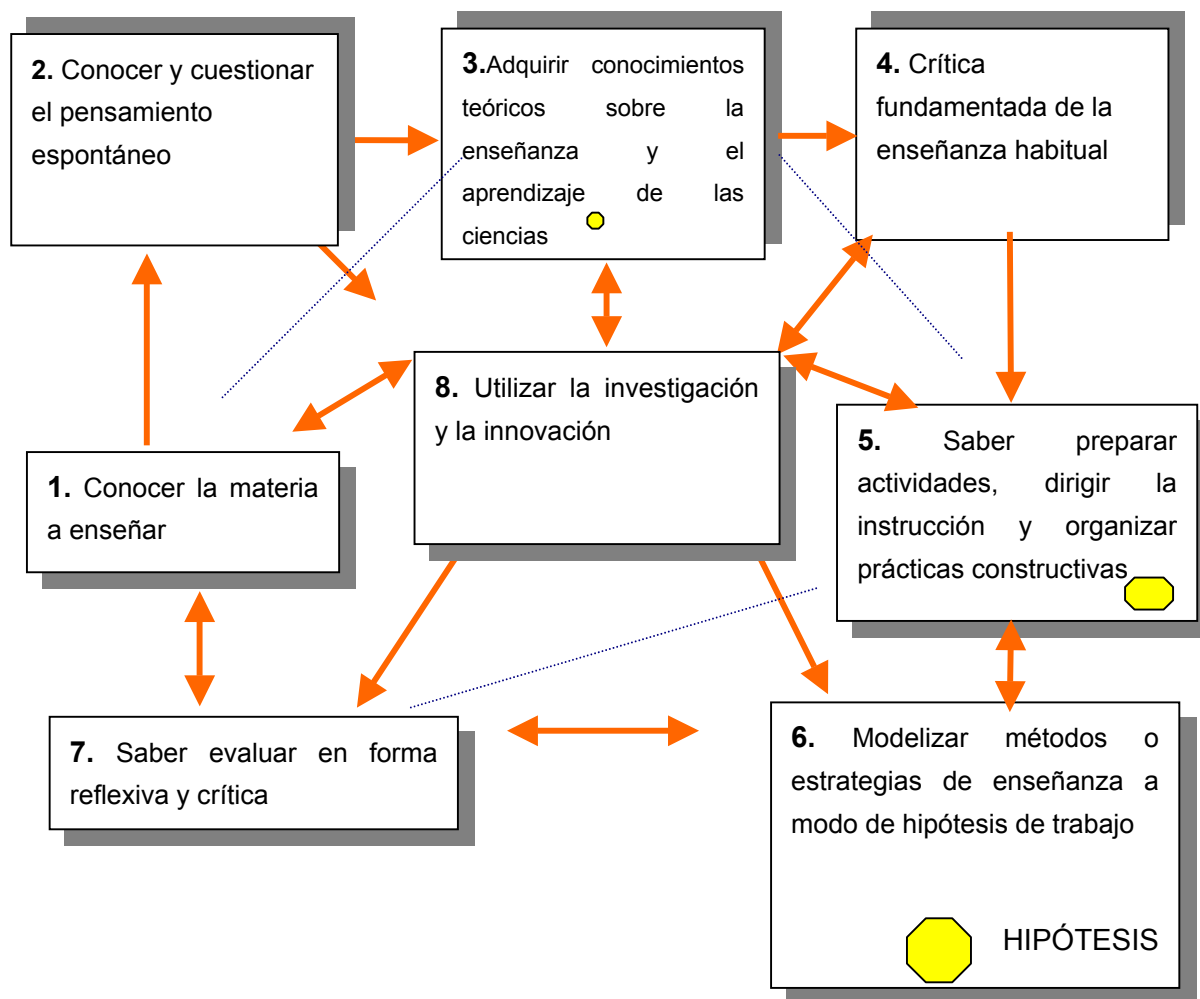
Justifica la decisión anterior afirmando que muchas veces las creencias y comportamientos de los profesores, revelan una aceptación “*acrítica de lo que siempre hacen en el aula*”, lo cual funciona como un obstáculo para plantear una enseñanza renovada.

Propone, entonces, un trabajo colectivo y reflexivo basado en la literatura producto de las investigaciones e innovaciones didácticas.

A partir de aquí describe un conjunto de “saberes” que debería tener un profesor de ciencias, para terminar con lo que él llama “*una visión simplista de la enseñanza de las ciencias*”.

Una adaptación de los mismos los presentamos en la siguiente figura, la cual se basa en una postura sobre el aprendizaje de tipo construcción y en la necesidad de transformar el pensamiento docente espontáneo.

### ¿CUÁLES SON LOS SABERES DE UN DOCENTE DE CIENCIAS?



**Esquema adaptado de Gil Pérez (1991).**

Este esquema muestra desde qué saberes comenzamos a pensar en el diseño de unidades didácticas. Pero antes de entrar en este tema, describiremos las ventajas que le brinda a un docente contar con dichos saberes y de esta forma mostrarle a usted por qué en cada capítulo de este curso hemos comenzado por los fundamentos teóricos de la didáctica.

Como podemos observar, son varias las competencias requeridas para que un profesor diseñe e implemente su tarea docente y reflexione sobre ella.

Conocer la materia a enseñar implica conocer en profundidad la disciplina, sus objetivos, problemas, leyes, teorías, historia, metodología, relación CTS y su interrelación con otras disciplinas. Este conocimiento le permite al docente principalmente, realizar una adecuada selección y organización de contenidos. En este punto nos referimos tanto a los contenidos conceptuales, procedimentales y

actitudinales, como a la forma en que ese contenido se construye en la ciencia y en el aula, como así también a la identificación de conceptos estructurantes, procedimientos generales y valores básicos y la forma de mantener el patrón temático de la clase.

Conocer y cuestionar el pensamiento docente espontáneo, es decir, aquel a partir del cual se toman decisiones poco fundamentadas y, en general, relacionadas con actitudes, ideas y comportamientos sobre la enseñanza adquiridas de la experiencia como alumnos o en años de práctica docente. Esto requiere someter a análisis las ideas de “sentido común”, como es el caso en donde se entiende que enseñar es fácil o que es natural que fracasen los alumnos porque aprender ciencias es difícil. También, que no podemos enseñar tal o cual tema por falta de tiempo o materiales. Sacar a la luz este pensamiento espontáneo facilita poner de manifiesto las concepciones científicas y docentes que pueden provocar estrategias de enseñanza que se aplican sin reflexionar sobre ellas.

Por ejemplo, pensar por qué damos determinado enfoque a la resolución de problemas, a los trabajos de laboratorio o a la introducción de conceptos nuevos, o por qué no aprenden los alumnos, por qué no se interesan. Analizar si realmente es un obstáculo para dar una práctica renovada el poco tiempo de que disponemos, el exceso de contenidos o la problemática socio-económica.

Se sugiere como contexto más apropiado para concretar estas reflexiones, el trabajo de docentes en grupos, si fuese posible.

Buscar respuestas a lo anterior, nos conduce a la necesidad de adquirir conocimientos teóricos sobre Historia, Filosofía y Epistemología de las Ciencias, que ayudarán a construir una visión y concepción de ciencia que se manifestará tanto en el diseño como en la implementación y evaluación de cada estrategia didáctica.

Desde los conocimientos sobre la psicología y sociología de los alumnos adolescentes formará criterio para justificar qué tipo de aprendizaje de las ciencias impulsará desde las actividades, cómo analizará, interpretará y trabajará con los conocimientos previos, concepciones y obstáculos en la construcción del conocimiento, qué vías de solución planteará. Además tendrá elementos para decidir sobre la gradualidad de las actividades, su selección y organización, así como las formas de evaluación, adecuación de las actividades al contexto lingüístico y mental de los alumnos, a las demandas cognitivas de las tareas y a las capacidades de resolución del estudiante.

Los conocimientos de didáctica dan elementos para hacer críticas fundadas a la enseñanza habitual, además de fundamentar sus decisiones sobre qué ciencia enseñar, cómo enseñarla, delimitar el marco metodológico de la disciplina, secuenciar contenidos y actividades, guiar adecuadamente las actividades de los alumnos, evaluar los procesos de enseñanza y aprendizaje, realizar innovaciones e investigaciones. Tomar decisiones -en función de los condicionantes que ya analizamos en el capítulo anterior- y reflexionar sobre los saberes de la práctica.

Entre dichas decisiones las más importantes se relacionan con la transformación del contenido en un conjunto de actividades y situaciones, usando diferentes estrategias de aprendizaje y modelizando métodos de enseñanza.

Coherentemente con los saberes anteriores se debe guiar la realización de las actividades y evaluar los aprendizajes. Esto ayuda a corroborar el logro de los objetivos y exigencias cognitivas previstas, delimitar prioridades y jerarquizarlas. En tanto que investigar y reflexionar sobre lo diseñado y ejecutado permite identificar lo que se quiere revisar, definir cómo hacerlo y con qué instrumento.

Esperamos, con el desarrollo de todas las aportaciones didácticas de este módulo, ir completando dichos saberes didácticos y establecer una relación con el objeto de conocimiento que nos ocupa: genética y evolución.

## La unidad didáctica

En esta parte delimitaremos un poco más el conocimiento teórico sobre unidad didáctica para luego transferirlo a la preparación de actividades y a la modelización de estrategias de enseñanza.

### *¿Qué es una unidad didáctica?*

Podemos caracterizar la unidad didáctica diciendo que:

- Es un nexo entre la formación que tiene un docente, sus intención de qué enseñar y lo que se debe aprender. Es decir, entre la teoría y la práctica.
- Su diseño es un proceso que reduce la incertidumbre y da confianza; guía y ordena; ayuda a eliminar la improvisación, lo secundario y el desfasaje temporal o conceptual.
- Transforma la propuesta oficial (selecciona, cambia de orden, da énfasis e interpretación). Es una propuesta singular que como ya vimos, está condicionada por múltiples variables.
- Es un nivel de concreción del currículo, el más cercano a la intervención didáctica.
- Implica una planificación de un segmento del currículo, que conlleva un proceso de reflexión, previsión, puesta en acción y análisis, dentro de una realidad socio-cultural.
- Es un proyecto que articula, para diferentes situaciones didácticas, fundamentos, intenciones o metas de aprendizaje, contenidos, estrategias de enseñanza y aprendizaje. Se integra alrededor de un eje organizador.
- Responde a lo que un docente hará, cómo lo hará, dónde lo hará y para qué lo hará.
- Es una hipótesis de trabajo, tiene probabilidades de ocurrencia. No es una receta (burocrática); supone ver la práctica como un problema.
- Relaciona la estructura disciplinar con la mediación que provoca el docente y con el aprendizaje de los alumnos.

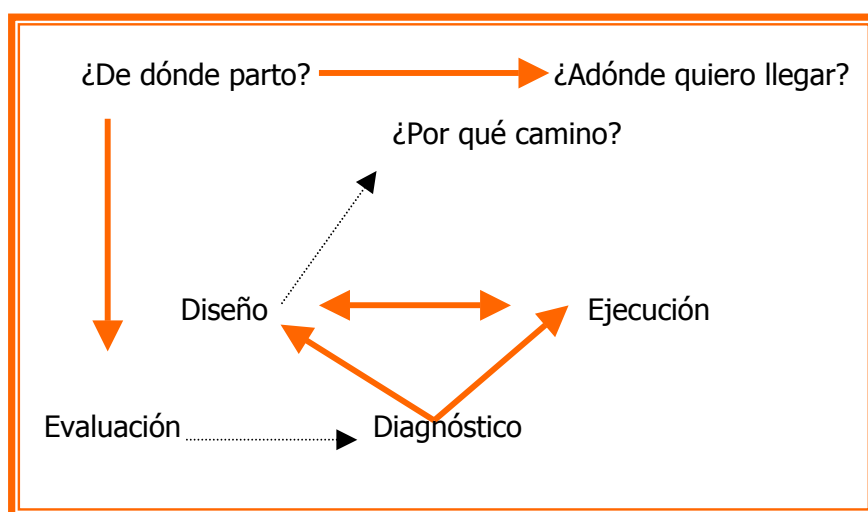
Es el docente el responsable de la última etapa de concreción del currículo, el que corresponde a la planificación de la materia en el contexto del PEI y el área. Es aquí, donde usted (solo o con sus colegas), puede optar por trabajar con **unidades didácticas**.

Como habrá podido analizar a través de lo expuesto en los capítulos anteriores, la didáctica de las ciencias actual plantea un cambio que permite superar una enseñanza tradicional y su imagen prescriptiva sobre lo que se debe hacer en el aula. En oposición, produce un cuerpo teórico -desde la investigación- y lo ofrece como fundamento para que el docente reflexione y tome decisiones.

En síntesis, la unidad didáctica (UD) incluye un conjunto de ideas a modo de hipótesis de trabajo (por ello es abierta), organiza las actividades de la práctica, integra una complejidad de factores, se orienta por un aprendizaje al que deben acceder o lograr los alumnos (de allí que conlleva una intención), puede ser disciplinar o interdisciplinar y fundamentalmente genera una cantidad de singulares situaciones de enseñanza y de aprendizaje. Es decir, se enmarca en las características de la situación didáctica que ya vimos en capítulos anteriores.

### *¿Cómo hacer una UD?*

Inicialmente, tener en cuenta que no hay una única vía, no hay un solo tipo de unidad didáctica y que no todo se planifica a través de UD. En general se proponen para producir una innovación. En el siguiente diagrama representamos los momentos en su elaboración:



Como podemos ver en el diagrama anterior, los momentos fundamentales son cuatro: el diagnóstico, el diseño, la ejecución y la evaluación, esta última recorre todo el proceso anterior.

Habitualmente, pensamos en el **diagnóstico** de los aprendizajes previos de los alumnos como el único elemento y momento que nos indica el **punto de partida** y, quizás, es una actividad para ir realizándola a lo largo de todo el proceso y no solo al comienzo.

Lo que nos debe permitir ver el diagnóstico al que nos referimos en el diagrama, es la distancia entre lo que quiero y lo que puedo hacer. También, las concepciones de ciencia, currículo, enseñanza y aprendizaje, los niveles curriculares previos (CBC, PEI, PC), los recursos de que disponemos, las intenciones educativas que nos guían y las experiencias previas con que contamos.

La respuesta a ¿por qué camino? tiene que ver fundamentalmente con la selección de actividades en el marco de un modelo y estrategias de enseñanza. En tanto que ¿a dónde quiero llegar? se refiere a los aprendizajes de los alumnos y a la realización en la instrucción del conocimiento a enseñar.

### *Los componentes de la estructura de una UD*

Toda unidad tiene una **estructura compuesta por diferentes elementos que hay que delimitar para cada caso.**

1. **Autor y personas que intervienen.** Puede elaborarla un solo docente, un equipo o pedir colaboración externa a algún profesional o funcionario.
2. **Ambiente** en el que se implementará: escolar o extra-escolar, de campo, laboratorio, aula.
3. **Temporalidad.** Es su extensión en el tiempo. Puede ser de un módulo, una unidad, un curso o un ciclo. Por supuesto que si se trata de unidades cuya duración es de curso o ciclo tendrán sub-unidades.
4. **Grado de especificidad disciplinar,** puede corresponder a una disciplina o ser interdisciplinarias. Dependerá de si su eje temático y si las finalidades se comparten o no. El contexto del trabajo en área es adecuado para elaborar unidades que establezcan algún tipo de relación entre disciplinas, en este caso hay diferentes posibilidades para lograrlo:
  - a) coordinando la secuencia de los temas en cada materia para no provocar superposiciones o tratar repetidamente un aspecto;

- b) combinando el tratamiento de un tópico, donde cada disciplina aporta su especificidad -por ejemplo cuando analizamos la estructura del ADN se requirió de explicaciones complementarias desde la química-;
- c) estableciendo relaciones interdisciplinarias, es decir, seleccionando un tema o problemática que se resuelve en forma conjunta desde diversas disciplinas y en el que no se delimiten los ámbitos de cada una. Es el caso de las conceptualizaciones que requieren un enfoque CTS (ciencia, tecnología y sociedad) donde se analiza la transferencia y uso de saberes de la ciencia en producciones tecnológicas (como fue el caso visto en biotecnología o en algunas temas de salud). Puede ser abordado desde diferentes disciplinas, en forma conjunta; los profesores de ciencias experimentales, ciencias sociales, tecnología y comunicación.

Los conocimientos, productos de estas actividades, redundarán en beneficio de todas ellas.

- **Grado de definición del diseño.** Puede ser cerrado o abierto. El grado de definición de una UD es un aspecto que tiene que ver con la flexibilidad curricular y con la posibilidad de anticipar probables modificaciones de lo diseñado, que permitan atender a un problema emergente sin perder de vista la finalidad que guía la UD. En general, en las escuelas, contamos con una gran diversidad de alumnos y características particulares de los grupos que conforman. Ellos pueden tener, por ejemplo, intereses o motivaciones que debemos contemplar y en consecuencia modificar tanto prioridades, como secuencias, tipos de actividad, etcétera.
- **Contexto.** Es el marco, el entorno a través del cual se organiza el contenido. Es decir, si vamos a planificar la UD desde una visión de *ciencia pura*, por ejemplo, la presentación de un grupo conceptual como los ciclos biológicos y realizar actividades delimitando estructuras y funciones. También podemos elegir el contexto CTS ya visto en el capítulo anterior. Este posibilita incluir actividades relacionadas con habilidades de comunicación, el cambio de opinión, la argumentación, la toma de decisiones y los puntos de vista.
- **Enfoque.** Orienta el tipo de procedimientos y análisis que se concretan en las actividades con relación a un contenido particular. Debería responder a las características epistemológicas del objeto de conocimiento. En biología, tenemos diferentes posibilidades, puede ser evolutivo, hipotético-deductivo, sistémico, taxonómico, descriptivo, analógico, entre otros.
- **El eje organizador.** Es el tema o tópico alrededor del cual se organiza la UD. Puede poner énfasis en lo conceptual, procedimental o actitudinal (ya ampliaremos las características de estos tres tipos de contenidos más

adelante) y estar planteado como una afirmación, una proposición, una pregunta o un problema.

- La secuencia de actividades. Según Fernández González y otros (1999), para hacer una UD, primero debemos seleccionar el tema o tópico y luego un conjunto de actividades y experiencias. Relacionar los conceptos que se elaborarán con cada actividad y posteriormente (o antes, pero siempre en un proceso de revisión), seleccionar los objetivos que espera logren sus alumnos y de acuerdo con ellos, volver a revisar la selección anterior. De esta forma podrá identificar las “ideas –fuerza” para un conjunto de metas. A partir de ellas, el autor propone analizar la relación entre lo que se quiere hacer y lo que se puede hacer. Esto implica integrar todo en un proceso de evaluación permanente.

Ahora bien, para elegir el contenido o tópico se deben tener en cuenta los intereses, conocimientos e ideas previas de los alumnos, los recursos de que se dispone, la relación con el resto del currículo y con el PEI, la lógica de la disciplina y el contexto.

La secuencia de actividades depende de las decisiones anteriores y del modelo de enseñanza elegido, por ejemplo, puede optar por un modelo sistémico investigativo, la resolución de problemas o el cambio conceptual. Pero cualquiera sea el modelo didáctico que fundamente su unidad, esta debería incluir actividades que según Mercán Iglesias (1993) y Sánchez Blanco, de Pro Bueno y Valcárcel Pérez (1997), estas pueden ser:

- De **inicio**, cuyo objetivo es realizar una aproximación al objeto de estudio para contextualizar a los alumnos, informarles de la propuesta, activar y proponer el conflicto con sus ideas previas y para incentivar su motivación.
- De **desarrollo**, que sirven para trabajar con la nueva información. Aquí se incluye desde un diálogo guiado hasta una resolución autónoma de una pequeña investigación.
- De **cierre**, es decir son actividades de conclusión y su objetivo es facilitar la estructuración de los aprendizajes, organizar la información que se ha manejado, de tal manera que se pueda avanzar en la comprensión de las problemáticas iniciales.

La estrategia de evaluación. Se debe seleccionar también una estrategia de evaluación para ver si provocó el cambio esperado. (El tema de la evaluación merece una profundización aparte que se realizará en el capítulo 7, en el segundo módulo de este curso).

Debemos tener en claro que es necesario planificar todas las etapas anteriores, tanto para lo que debería hacer el alumno como para lo que deberíamos hacer

los docentes. Por ejemplo, pensar algunas preguntas clave por si no surge de la iniciativa de los alumnos o para guiar la construcción de algún concepto complejo; otras actividades para sustituir, reemplazar o cambiar el clima del aula, acompañar el progreso de los alumnos, etcétera.

Como dijimos anteriormente, esta etapa de pensar en la construcción del currículo que llevaremos a la sala de clase, supone plantearse una hipótesis de trabajo.

¿Por qué? Porque nos referimos a una tarea reflexiva e innovadora que supone crear situaciones de clase singulares. Es necesario, entonces, que sepamos que nuestro diseño es un nexo entre nuestra formación, intenciones y la práctica, una guía que permite ordenarnos y tomar de decisiones. Es la resolución de un problema relacionado al cómo enseñar, constituye una propuesta educativa y, por último, es lo que justifica y explicita lo que haremos con la enseñanza.

### *A modo de síntesis y reflexión*

Si pensamos en el diseño de UD en biología y para genética y evolución en particular, surgirán preguntas como: ¿es conveniente para este tema, seleccionar tanto el eje diacrónico como sincrónico?, ¿qué tipo de enseñanza plantearé; descriptiva, explicativa, problematizante, disciplinar-interdisciplinar?, ¿qué visión de ciencia y de aprendizaje de las ciencias la fundamentará?, ¿cómo formularé las actividades para provocar el cambio conceptual y la construcción de los nuevos significados?

Mientras piensa en estas u otras preguntas relacionadas con el tema, le proponemos comenzar a analizar los contenidos de biología para luego, al finalizar el capítulo, realizar la transferencia de las aportaciones didácticas a la enseñanza de estos contenidos en particular.

## Contenidos de biología

### La herencia de generación en generación

Los **conceptos de biología** se explican en este capítulo a partir de interrogantes ejes que, en este caso, son:

- ¿Qué principios explican la transmisión de la información hereditaria?
- ¿Puede el ser humano manipular el material genético?
- ¿Cuáles son las aplicaciones de la tecnología del ADN recombinante?
- ¿Qué problemas éticos y de seguridad plantean estas técnicas?

#### *Un recorrido por las ideas más antiguas sobre la herencia*

Ojos marrones, celestes, verdes, grises... Pelo negro, rubio, castaño o pelirrojo... son unos pocos ejemplos de las variaciones heredables más llamativas en el hombre que podemos observar en una población. ¿Cuáles son los principios genéticos que rigen la transmisión de estos rasgos de padres a hijos? Por muchos siglos, estudiosos y no estudiosos se hicieron esta pregunta y no fue fácil contestarla.

Desde la Grecia antigua, los filósofos ya se preguntaban acerca de la herencia y la génesis de los nuevos individuos, lo que aportó un sinnúmero de ideas que no tenían peso científico. Entre ellos se menciona a Aristóteles (384-322 AC), por la influencia que tuvo desde su época hasta virtualmente el siglo XVII. Aristóteles consideró la sangre como el elemento vital de la herencia. En los humanos y vertebrados afines, indicó correctamente que los progenitores masculinos aportan semen, pero la consideró como sangre altamente purificada. Los progenitores femeninos también aportaban sangre en la forma de fluido menstrual y la unión de ambos elementos relacionados con la sangre originaba el nuevo ser. Esta idea incorrecta aún persiste en nuestro lenguaje cotidiano en frases como: “de mi sangre”, “de pura sangre”, “de sangre azul”.



### *Un aporte para el aula*

Las ideas aristotélicas sobre la herencia a través de la sangre suelen verse reforzadas debido a las dificultades que tienen los alumnos para comprender qué es el ADN, dónde se encuentra y por medio de qué mecanismos se expresa concretamente su información que determina las características de los seres vivos. Si usted indaga las ideas previas de los alumnos sobre la transmisión hereditaria y aparece la sangre como el elemento de la transmisión, es conveniente que siga indagando cuál es el origen de esa idea. Es probable que la fuente de esa idea errónea también esté en el desconocimiento de la sangre como tejido y en el conocimiento parcial de la técnica de ADN para la determinación de la filiación. Es comúnmente sabido que para este tipo de análisis se suele extraer sangre a los implicados, lo que no se explicita habitualmente es que se utiliza el ADN de los leucocitos (células sanguíneas nucleadas).

Desde esta época hasta el siglo XVII hay un largo lapso de oscurantismo, en el que la religión y el principio de autoridad dominan el espíritu naturalmente investigador de los humanos, por lo que conservan las ideas preconcebidas sin cuestionamientos.

En el siglo XVII, se produce una verdadera revolución cultural en el mundo. Entre los muchos avances, el perfeccionamiento de los microscopios por el holandés Anton van Leewenhoek (1632-1723) permitió descubrir los espermatozoides y los folículos de Graaf. Entonces, se creyó ver pequeños hombres ya formados en los espermatozoides, denominados homúnculos, que encontrarían en los aparatos reproductores femeninos el medio necesario y los nutrientes para desarrollarse, teoría conocida como **preformacionismo**.

El mismo Leewenhoek aportó pruebas al respecto basadas en cruzamientos de conejos: encontró que si cruzaba un conejo marrón con una coneja blanca, los descendientes eran grisáceos, daba la impresión de que el macho proporcionaba la influencia determinante. Surgió enseguida una disputa entre los que apoyaban la idea de que el organismo preformado estaba en el espermatozoide, **animalculistas** y quienes lo proponían en el óvulo, **ovistas**. Kaspar Wolf (1733-1794), un embriólogo alemán de excelencia, con su **teoría de la epigénesis** desterró al preformacionismo aportando evidencias de que las células gaméticas no contienen embriones ya formados sino potencialidades para su desarrollo. Pero la herencia en sí misma, continuaba sin dilucidarse.

Una posible explicación de la herencia fue la **hipótesis de la “mezcla”**; la idea de que el material genético aportado por ambos progenitores se mezcla en la descendencia de una manera análoga a la mezcla de dos pinturas. Según esta idea, a lo largo de muchas generaciones de una determinada población se obtendría una población uniforme de individuos, pero sabemos por nuestra propia observación y por diversos experimentos genéticos que no es así. También en contra de esta idea, está

el hecho de que muchas veces hay rasgos que saltan generaciones y aparecen de bisabuelos o abuelos a bisnietos o nietos. El mismo Charles Darwin se oponía a esa premisa, ya que su **teoría de la selección natural** se basa en que los individuos de una población muestran variación en sus rasgos heredables, pero ni él mismo conoció la herencia en su verdadera dimensión.

### *La genética moderna comienza con el trabajo de Gregor Mendel*

La genética moderna tiene su fundamento en los pacientes trabajos del monje de un monasterio que vivió en el siglo XIX y que documentó la herencia particulada de manera inequívoca. Esta herencia particulada, en contraposición a la idea de mezcla, lleva implícita la idea de gen. Los progenitores pasan a sus descendientes unidades discretas heredables (genes) que retienen su identidad en ellos. Los genes se distribuyen y se pasan de generación en generación de forma no diluida. El monje a quién nos referimos es Gregor Mendel (1822-1884), el padre de la genética, aunque él nunca lo supo...

Por razones de diversa índole, el hallazgo de Mendel permaneció incomprendido hasta 1900, fecha en que independientemente tres investigadores diferentes, redescubrieron su trabajo y reconocieron su increíble significado.



#### *Un aporte para el aula*

No está de más repasar algunos aspectos de la vida de Mendel que son significativos para entender su labor. Creció en una pequeña granja en lo que era entonces Moravia y en su escuela primaria recibió entrenamiento en agricultura, además de la educación básica. Fue a la escuela secundaria y a los 21 años ingresó en un monasterio de agustinos en Brunn. Una vez que fue monje, fue enviado a la universidad de Viena a estudiar física, matemática y ciencias naturales, y los tres años que pasó allí fueron fundamentales para su desarrollo como científico.

Dos profesores influyeron mucho en él: el físico Doppler --que alentaba a sus alumnos a aprender ciencia a través de la experimentación y que entrenó a Mendel para usar la matemática a fin de ayudar a interpretar los fenómenos naturales-- y el botánico Unger --que despertó en él un gran interés por las causas de la variación en plantas. Después de ir a la universidad, Mendel volvió al monasterio de Brunn y enseñó como profesor del secundario.

En el monasterio donde vivía había una tradición en el cultivo y los cruzamientos de plantas. Por eso, no resulta raro que a los 35 años Mendel iniciara una serie de cruzamientos en arvejas en el jardín del monasterio. Y, por entonces, lo extraordinario

de su trabajo fue la mirada fresca de Mendel hacia el viejo problema de la herencia, aún sin resolver.

Cuatro aspectos resultaron importantes en el éxito de dilucidar las leyes básicas de la herencia.

1. La elección de la arvejilla (*Pisum sativum*) como material de estudio:



- a) La arvejilla una leguminosa de fácil cultivo, pues entre dos generaciones hay una estación de cultivo y produce muchos descendientes en forma de numerosas semillas;
- b) Por la estructura y disposición de los órganos masculinos y femeninos en esta planta, si la flor no es manipulada se autopoliniza (su propio polen se deposita en el estigma) y se autofecunda, es decir produce semillas a partir de la fusión de sus propias gametas masculinas y femeninas (observe la figura anterior);
- c) La arvejilla tiene caracteres hereditarios bien definidos y fáciles de observar que se mantienen de generación en generación, tales como color de flor (con las variantes violeta o blanca), color de semilla (amarilla o verde), forma de la semilla (lisa o rugosa), etc. De todas las variantes posibles, Mendel usó 7 bien definidas (ver la figura siguiente), como las

tres recién mencionadas, que no presentaban formas intermedias. Se aseguró de ello dejando que se autofecunden por varias generaciones, de tal modo que,

por ejemplo, las plantas con flores violeta siempre daban por autofecundación plantas con flores violeta.

- d) El estudio de la herencia sobre la base del análisis de caracteres particulares en lugar de organismos completos, como se había hecho generalmente hasta entonces. Tratar de entender un fenómeno tan complejo como la herencia considerando todos los caracteres de un organismo es prácticamente imposible, pero seguir el destino de uno o dos caracteres en varias generaciones es razonable y puede aportar datos concretos de valor.
- e) La aplicación de la estadística a los resultados obtenidos, algo muy poco frecuente en la época. Tuvo un claro entendimiento de la probabilidad, lo cual le ayudó a predecir el resultado de los cruzamientos y a interpretar a la fertilización como un evento azaroso con un número posible de resultados. Sin ello, no podría haber dilucidado las leyes básicas de la herencia y su constancia.
- f) Y por último por qué no decirlo, la falta de presión sobre la obtención de resultados significativos. Mendel era un “oscuro” monje en un “oscuro” monasterio. No trabajaba en una “importantísima” universidad de la época ni tenía necesidad de publicar “grandes” trabajos, de conseguir la fama.



### *Los resultados de los experimentos de Mendel*

Vayamos a los resultados obtenidos por Mendel y a su interpretación. Hizo cruzamientos experimentales controlados (ver figura de la técnica para realizar cruzamientos en arvejas), cruzando las dos variedades que contrastaban en un

carácter, es decir: plantas de flores violeta con plantas de flores blancas, de semillas lisas con semillas rugosas, y así sucesivamente.



### *Un dato: la técnica de polinización utilizada por Mendel*

Para lograr los cruzamientos Mendel tuvo que tener en cuenta que las flores de arveja son hermafroditas; concretamente utilizó la siguiente técnica:

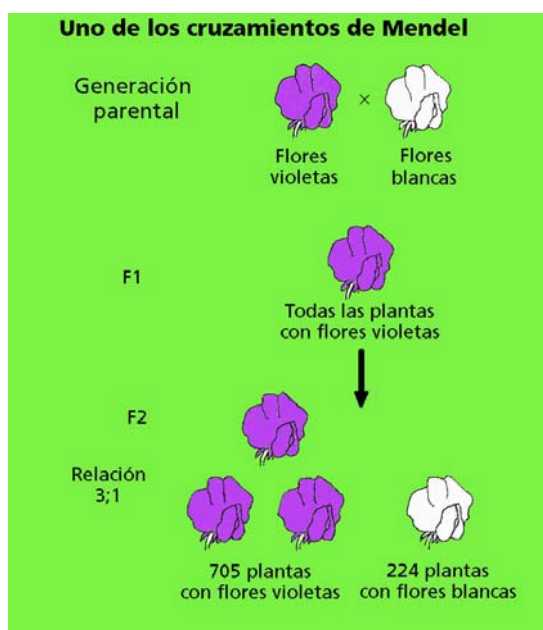
- a) **Primero cortó los estambres (órganos masculinos productores de polen donde se forman las gametas masculinas) de las flores que servirán como progenitores femeninos para que no hubiera posibilidad de autopolinización y autofecundación.**
- b) **Luego con un pincel, colocó sobre el estigma de las flores que servirían como progenitores femeninos, el polen de las flores que servirían como progenitores masculinos.**
- c) **Por último procedió a cubrir las flores artificialmente polinizadas, con el fin de evitar que reciban nuevamente polen de cualquier tipo.**

Curiosamente, cualquiera fuera el carácter en cuestión o qué planta funcionara como progenitor femenino o masculino, los resultados eran comparables: en la primera generación que obtenía (llamada  $F_1$  para abreviar primera generación filial) todos los descendientes eran similares y mostraban uno de los dos caracteres de los padres. Por dicha razón, a ese carácter lo llamó **dominante**.

Cuando dejaba que las plantas obtenidas de estos cruzamientos se autofecundaran, en la segunda generación filial (o  $F_2$ ), los resultados indicaban que, por aproximadamente tres descendientes que tenían el carácter dominante, había uno que volvía a manifestar el carácter del progenitor que no se había expresado en la primera generación (ver las figuras siguientes). A este carácter, por ello, lo llamó **recesivo**. En la tabla siguiente, se encuentran los resultados que Mendel obtuviera en las distintas  $F_2$ .

| CARÁCTER           | PROGENITORES |   |          | F <sub>2</sub> |          |            |
|--------------------|--------------|---|----------|----------------|----------|------------|
|                    | Dominante    | x | Recesivo | Dominante      | Recesivo | Proporción |
| forma de semilla   | lisa         | x | rugosa   | 5.474          | 1.850    | 2,96 : 1   |
| color de semilla   | amarilla     | x | verde    | 6.022          | 2.001    | 3,01 : 1   |
| color de flor      | violeta      | x | blanca   | 7.5            | 224      | 3,15 : 1   |
| forma de fruto     | inflado      | x | arrugado | 705            | 299      | 2,95 : 1   |
| color de fruto     | verde        | x | amarillo | 428            | 152      | 2,82 : 1   |
| posición de flores | terminales   | x | axilares | 651            | 207      | 3,14 : 1   |
| longitud del tallo | alto         | x | enano    | 787            | 277      | 2,84 : 1   |

Como vemos en esta tabla, por un lado Mendel fue muy cuidadoso en registrar



sus resultados contando al detalle la descendencia que obtuviera en cada cruzamiento y, por otro lado, realizó muchos cruzamientos para que su muestra de datos fuera grande. Y tal vez más trascendental que esto es que convirtió los resultados en proporciones, con lo cual pudo interpretarlos de una manera sorprendentemente clara y establecer generalizaciones a partir de ellos. Sin ello, no hubiera podido advertir la constancia que presentan.

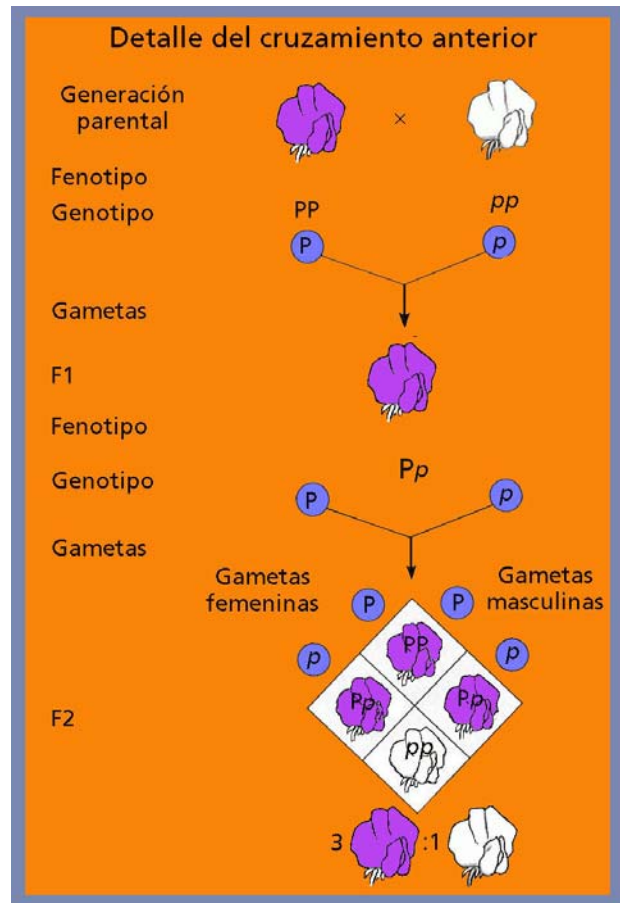
Interpretó sus resultados como se explica en la siguiente figura.

Con sus resultados, Mendel desacreditó la hipótesis en boga de la herencia como un fenómeno de mezcla, ya que en ninguno de sus cruzamientos los caracteres de los descendientes presentaban una forma intermedia. Además, la teoría de la mezcla no podía explicar la reaparición de caracteres de los progenitores en la segunda generación, luego de no haberse manifestado en la primera generación. Propuso que **las unidades responsables de la herencia de caracteres específicos estaban presentes como unidades discretas a las que él llamó factores. Esas**

**unidades estarían de a pares y segregaban, es decir se separaban, cuando se formaban las gametas.** Se evidenciaba de este modo, que la herencia era particulada, es decir que las unidades hereditarias retenían su integridad en presencia de otras unidades y se separaban independientemente unas de otras.

Cuando aplicó métodos estadísticos a sus datos, llegó a la conclusión que cada planta de arvejilla tendría dos unidades hereditarias o factores para cada carácter, una de cada uno de sus progenitores, los cuales de acuerdo con su expresión en la apariencia física de los organismos serían dominantes o recesivos, como se mencionó más arriba. Cuando las gametas se formaban, solo uno de esos pares de factores para un determinado carácter sería recibido por cada gameta. Por consiguiente, al producirse la fecundación

de dos gametas, el cigoto resultante tendría dos factores. Merece ponerse de relieve el hecho de que sus conclusiones fueron correctas y que pudo llegar a ellas sin saber los detalles, desconocidos en su época, de mitosis, meiosis y cromosomas.



### *Los resultados de Mendel a la luz de la biología celular y molecular*

Hoy explicamos sus resultados como sigue. Las plantas de arvejilla son organismos diploides, por lo tanto tienen pares de cromosomas homólogos. En estos pares de cromosomas, el gen que codifica para una característica determinada está repetido dos veces, una en cada cromosoma. Si el gen es igual en cada caso, se dice que son organismos homocigotas para ese gen, porque todas las gametas tendrán ese gen y, teóricamente, si se autofecundaran producirían un único tipo de cigoto (de ahí homocigota). En este caso, la planta con flores violeta es **homocigota** dominante (**VV**) y la de flores blancas es homocigota recesiva (**vv**).

Las gametas de estas plantas, al formarse por meiosis, son haploides y llevan un solo miembro del par de homólogos (**V** o **v**, en las plantas homocigotas dominantes o recesivas, respectivamente). Cuando estas plantas homocigotas dominante y recesiva se cruzan entre ellas (**VV x vv**), el resultado muestra que todos los descendientes

(100%) tienen flores violeta, pero en su constitución genética es diferente. En efecto, al juntarse las gametas correspondientes, el cigoto tiene el **gen dominante** con el **gen recesivo (Vv)**. Estas plantas se dice que son **heterocigotas** por tener dos variantes distintas del mismo gen; por ello, producen gametas diferentes (50% con cromosomas con el gen **V** y 50% con el gen **v**) y si se autofecundaran producirían varios tipos de cigoto, según sean las gametas que se unan.

Mendel verificó sus hipótesis al hacer las llamadas **retrocruzas** o cruzamientos prueba. Si las plantas resultantes de un cruzamiento tenían flores violeta, hizo estas retrocruzas para saber si se trataba de plantas homocigotas dominantes o heterocigotas, ya que ambas tendrían el mismo color de flor pero distinta constitución genética. Para ello, cruzó estas plantas problema con plantas de flores blancas, que tienen una constitución conocida: homocigotas recesivas. Si las plantas problema eran homocigotas dominantes, el resultado era que toda la  $F_1$  mostraría flores violeta, es decir el rasgo dominante. Por otro lado, si las plantas fueran heterocigotas, el resultado sería 50% de plantas con flores violetas y 50% de plantas con flores blancas, como se aprecia seguidamente:

progenitores **VV** x **vv**

**Vv** x **vv**

gametas **V** **v**

**V, v** **v**

**F<sub>1</sub>** **100% Vv**

|          |            |            |
|----------|------------|------------|
|          | <b>V</b>   | <b>v</b>   |
| <b>v</b> | <b>Vv</b>  | <b>vv</b>  |
|          | <b>50%</b> | <b>50%</b> |

Hemos analizado hasta aquí la primera etapa de los trabajos de Mendel y los acontecimientos históricos previos a su descubrimiento, relacionados con la búsqueda de los principios que guían la transmisión de los caracteres hereditarios de una generación a la siguiente. Las explicaciones anteriores requieren conceptualizaciones previas y a su vez son ejemplo de una forma de trabajo científico. En esta actividad le proponemos reflexionar sobre lo anterior y sobre la forma de trabajo en el aula.



## ACTIVIDAD N° 17

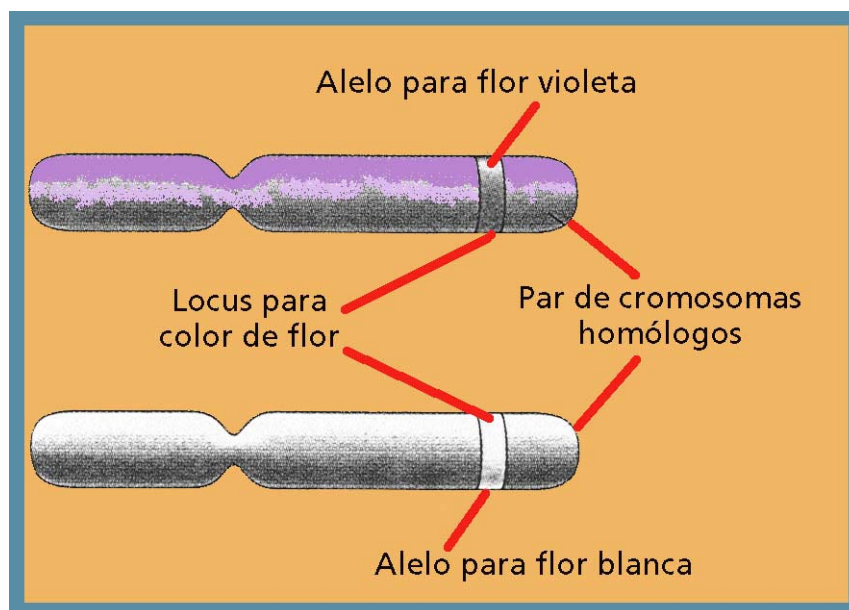
- Revise los capítulos anteriores y lo visto en este y luego responda:
  - ¿Por qué cree que hemos ubicado estas explicaciones luego de haber analizado la estructura molecular del ADN, siendo que este es un descubrimiento histórico posterior al de Mendel?
  - ¿Secuenciaría de la misma forma estos contenidos al planificar la UD de estos temas?
  - ¿De qué procedimientos científicos es ejemplo lo que comentamos del trabajo que hizo Mendel para construir su teoría?
  - Si los alumnos, a partir de los datos anteriores, simularan que son Mendel y escribieran un informe de la investigación, ¿qué objetivos de la UD puede concretar con ella? ¿cree que esta propuesta sería una actividad adecuada para el nivel polimodal? Busque argumentos que justifiquen su respuesta.
- Le sugerimos que elija alguno de los otros participantes del curso e intercambie opiniones con él sobre esta actividad.

Al responder a la actividad anterior habrá podido identificar nuestro criterio para seleccionar y secuenciar contenido. Ver, por ejemplo, que nuestro eje se relaciona con lo que decíamos al comienzo de que “lo micro permite explicar lo macro”, que a “hacer ciencias” se aprende recreando el proceder de la ciencia y la comunicación científica, ya sea con actividades teóricas o experimentales y que la historia es una herramienta útil para tal finalidad. Por supuesto que en función de la secuencia elegida, los conocimientos previos requeridos serán diferentes, como así también, el nivel de complejidad y completitud con que puede tratarse un tema. En nuestro caso, haber analizado previamente los niveles moleculares, celular y de organismo nos facilita el tratamiento de lo que sucede a nivel poblacional.

### *Alelos, locus, fenotipo y genotipo*

Antes de retomar los trabajos de Mendel y el enunciado de sus leyes haremos un paréntesis para revisar otros conceptos básicos a la luz de la biología molecular que ayuda a interpretar los resultados mendelianos desde los conceptos modernos.

Primero analizaremos el de **alelo** (observe la figura siguiente). Los genes son segmentos de ADN que tienen información para un determinado carácter. Están ubicados en una determinada posición o lugar del mismo que se conoce como **locus** (lugar en latín; en plural **loci**). Los alelos son las variantes de dicho gen, o sea otra forma de referirse a los genes. En este caso, para el color de flor existen dos versiones: el alelo dominante para el color violeta y el alelo recesivo para el color blanco, cada uno de los cuales está ubicado en un cromosoma homólogo.



Ahora veamos los conceptos de **fenotipo** y **genotipo** (visualice la figura anterior). Fenotipo se refiere a la apariencia física de los seres vivos, son los caracteres observables pudiendo ser macroscópicos, microscópicos o fisiológicos, en el caso que nos ocupa los fenotipos serían flor violeta o blanca. Genotipo se refiere a la constitución genética de los organismos. Así, se puede expresar que los progenitores homocigotas dominante (**VV**) y los descendientes heterocigotas de la  $F_1$  (**Vv**) tienen distinto genotipo pero el mismo fenotipo con flores violeta.



### *Una aporte para el aula*

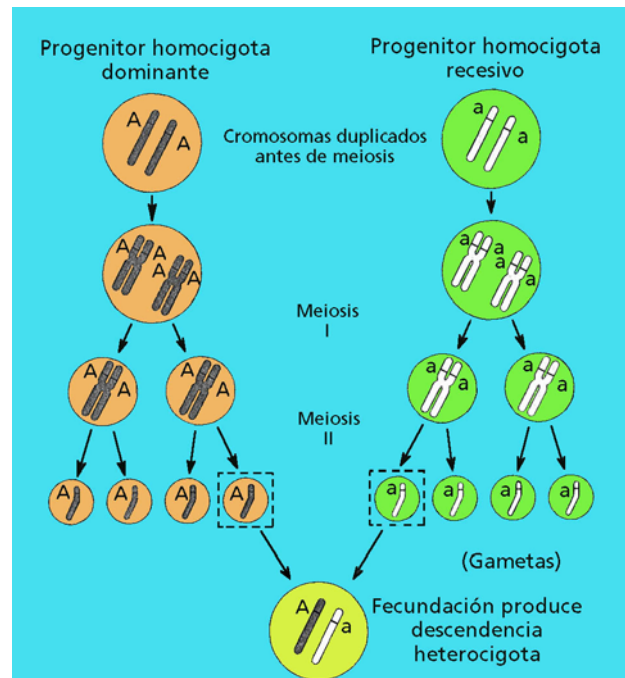
Nos parece de suma importancia trabajar con los alumnos en un momento aparte sobre “cómo se simbolizan los genes” y no dar por sentado que los códigos que utilizemos en nuestra explicación se aprenden espontáneamente. Recordemos que los genes se simbolizan con letras. Si son alelos llevan la misma letra (el dominante con mayúscula y el recesivo con minúscula). Normalmente, se usa la primera letra de la palabra a la que se refiere el carácter. Por ejemplo, en la arvejilla para color de flor (blanca o violeta) ponemos **V** para indicar el alelo dominante y **v** para el alelo recesivo. No se usan dos letras distintas (una para violeta y otra para blanca) ya que se trata de un único gen con dos diferentes estados de color. Por convención, en los heterocigotas se escribe siempre primero el gen dominante seguido del recesivo (**Vv**).

Retomemos los resultados de Mendel. Cuando las plantas heterocigotas de la  $F_1$  son autofecundadas, el panorama de la  $F_2$  es distinto. Como son heterocigotas, producen dos tipos distintos de gametas (50% con el alelo **V** y 50% con el alelo **v**), que cuando se combinan dan, desde el punto de vista fenotípico, 3 descendientes con flores violeta por 1 con flores blancas, y desde el punto de vista genotípico, 1 descendiente homocigota dominante, 2 heterocigotas y 1 homocigota recesivo. Observe lo que acabamos de expresar en la figura siguiente.

| Genotipo |                           | Fenotipo                                                                              |         |
|----------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1        | <b>PP</b><br>Homocigota   |  | Violeta |
| 2        | <b>Pp</b><br>Heterocigota |  | Violeta |
|          | <b>Pp</b><br>Heterocigota |  | Violeta |
| 1        | <b>pp</b><br>Homocigota   |  | Blanca  |

### *Enunciado del principio de segregación – 1ª ley de Mendel*

De lo expresado más arriba surge el **principio de segregación** (o primera ley de Mendel), que indica que las gametas sólo llevan uno de los dos alelos que tienen los progenitores, ya que las mismas se separan o segregan durante la meiosis (ver la figura). Este concepto explica cómo un carácter puede persistir de generación en generación sin mezclarse con otros caracteres, y cómo es posible que algunos caracteres no se manifiesten en una generación pero vuelvan a aparecer en la generación siguiente.



### **El principio de la distribución independiente – 2ª ley de Mendel**

Mendel continuó sus experimentos con arveja, preguntándose qué sucedía si se cruzaban progenitores que diferían en dos caracteres. Le intrigaba saber si cuando estas plantas formaban sus gametas, los factores (o alelos) de origen materno quedaban formando parte de la misma gameta y los de origen paterno de otra, o bien si se comportaban independientemente, es decir si se separaban y se combinaban en las distintas gametas. Para ello, cruzó plantas de semillas amarillas (AA) y lisas (LL) con plantas de semillas verdes (ll) y rugosas (rr), así como cruzamientos de este tipo con otros pares de caracteres.

Le sugerimos ahora que realice la siguiente actividad para integrar lo que aprendió hasta aquí sobre cruzamientos y también para que desde su función docente pueda reflexionar sobre una posible transferencia didáctica de estos temas a la realidad de su aula. Para ello resuelva las consignas que aparecen a continuación.



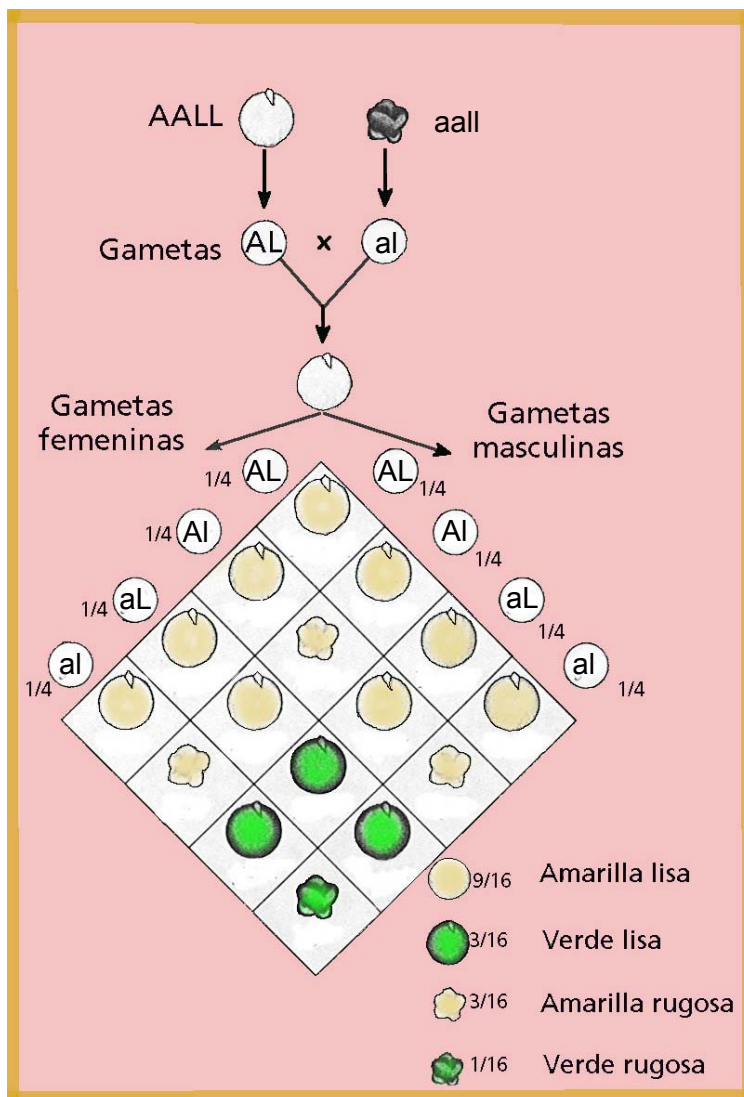
## ACTIVIDAD N° 18

1. Analice y complete el siguiente esquema de uno de los cruzamientos de Mendel, tal como lo interpreta. Razone sobre su significado genético y escriba su análisis.

2. Responda desde su experiencia docente:

a. ¿Cómo podrían resolver sus alumnos la consigna anterior? ¿La incluiría como una actividad? Piense por ejemplo si es una buena propuesta para reconocer si se entendió el primer tipo de cruzamiento y si es más sencillo respecto de los que siguen.

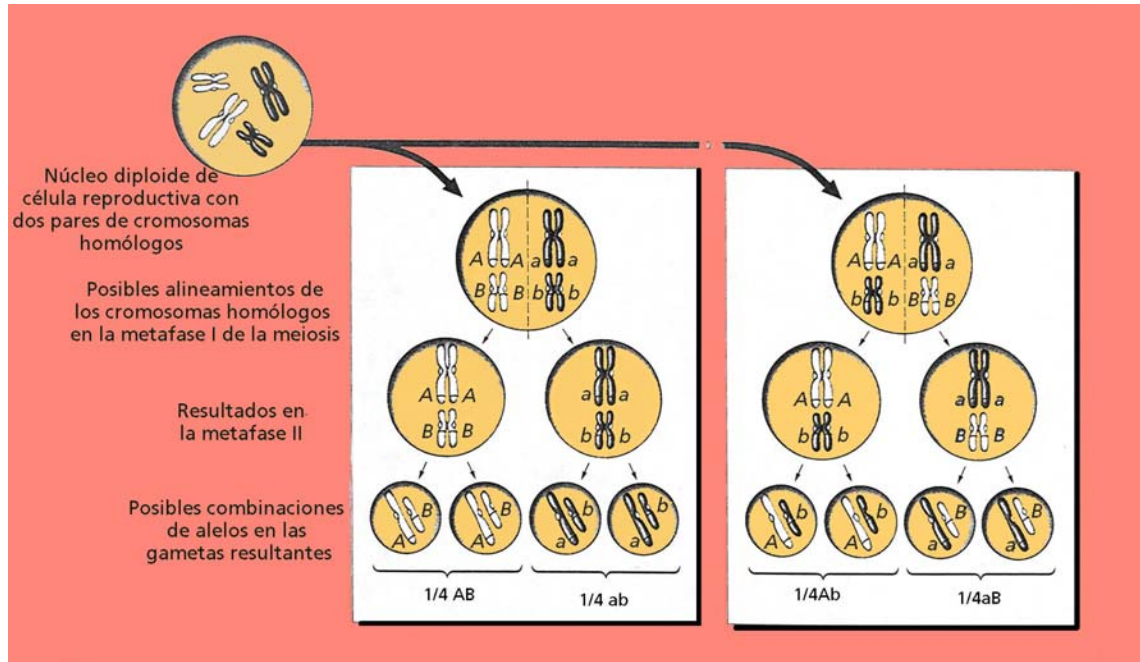
b. ¿Cree que este es el momento oportuno para incluir la actividad de realizar un informe (sugerida anteriormente)? Recuerde que tenemos nueva información sobre los hallazgos de Mendel ¿Se podría pensar en solicitar a los alumnos que completen o hagan informes sucesivos, acordes con los nuevos datos? ¿Qué beneficios traería para su aprendizaje?



3. Intercambie sus opiniones sobre el punto 2 con otros compañeros del curso.

Una vez analizados los cruzamientos más simples estamos preparados para comprender los siguientes, ya que a partir de estos cruzamientos de dos caracteres surgió el **principio de la distribución independiente** (o segunda ley de Mendel) que

indica que los miembros de diferentes alelos se distribuyen independientemente cuando las gametas se forman. En la siguiente figura se puede observar con claridad este principio.



### *¿Por qué no se reconoció rápidamente la brillantez de los trabajos de Mendel?*

Mendel publicó sus resultados, en alemán, en 1866 en los Anales de la Sociedad de Ciencias Naturales de Brünn, con el nombre de “Experimentos de hibridación en plantas”. Eso fue todo lo que hizo con su minucioso experimento. Más tarde este monje fue ascendido a abad y cada vez le quedó menos tiempo para investigar en el jardín del monasterio. Nadie, probablemente ni el mismo Mendel, comprendieron el verdadero significado de estos datos en el entendimiento de la herencia. Hubo que esperar al año 1900 en que un holandés (Hugo de Vries), un alemán (Karl Correns) y un austríaco (Erich von Tschermak) repitieran y redescubrieran el trabajo de Mendel.

Varias cuestiones conspiraron para que los científicos de su época no dieran a los trabajos de Mendel el lugar que luego les correspondería.

Mendel era un auténtico desconocido en el mundo científico de la época, que trabajaba en un desconocido monasterio y que publicaba sus trabajos en una desconocida revista..

El artículo que publicó demostraba con gran sencillez el mecanismo de la herencia, una sencillez y una constancia casi inaceptables frente a los muchos años e investigaciones para tratar de entenderla sin éxito.

La preocupación de Mendel por la probabilidad en los resultados era casi desconocida en la época en trabajos biológicos.

Las bases físicas de la herencia (mitosis, meiosis, cromosomas, etc.) no se conocían aún.

#### **Un aspecto curioso en el trabajo de Mendel**

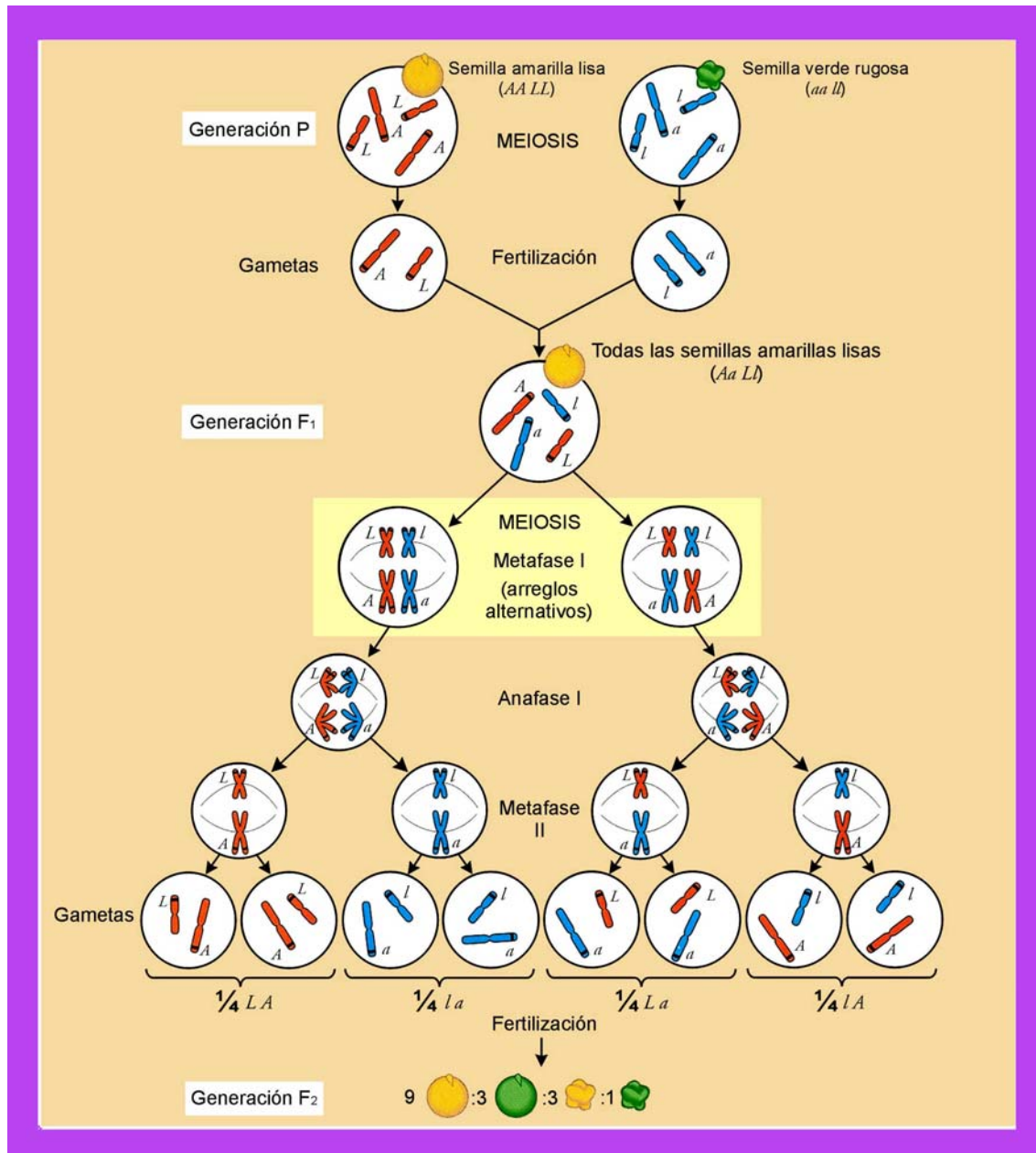
Un párrafo aparte merece destacar un aspecto casi increíble del trabajo de Mendel. Como dijimos usó la arveja como material de estudio y ya se explicaron sus ventajas. Ahora bien, esta especie es diploide y tiene un total de 14 cromosomas, es decir que sus gametas tienen 7 cromosomas. Misteriosamente, Mendel estudió 7 caracteres, cuyos genes están ubicados uno en cada uno de los 7 cromosomas. Si hubiera estudiado dos genes ubicados en un mismo cromosoma, no podría haber obtenido las mismas conclusiones, ya que esos genes no se hubieran distribuido independientemente, como lo propuso... Esta es, entonces, una limitante a sus resultados: si los genes están ubicados en un mismo cromosoma, o están "ligados" como se dice en terminología genética, no se cumplen los principios que él descubriera.



#### ***Un aporte para el aula***

Existen en Internet algunos sitios donde puede encontrar más datos bibliográficos sobre Gregor Mendel.

### *La base cromosómica de la herencia mendeliana*



En la lámina anterior se correlacionan los resultados de uno de los cruzamientos de Mendel de dos caracteres con el comportamiento de los cromosomas: color y forma de las semillas de arvejilla (amarillo/verde, lisa/rugosa). Los dos genes están en diferentes cromosomas y las líneas negras simbolizan los **loci** en cada cromosoma. Solo se representan los dos pares de cromosomas involucrados. Los arreglos cromosómicos en la metafase I de la meiosis y su movimiento durante la anafase I tienen que ver con la segregación y distribución independiente de los alelos que se tratan. Los dos alelos de cada carácter segregan cuando los cromosomas homólogos

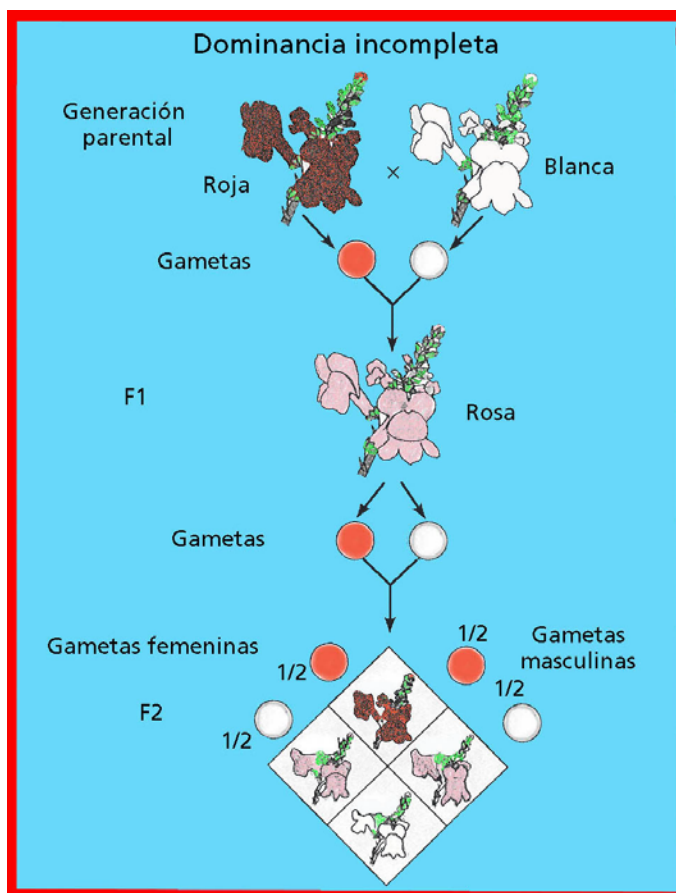
se mueven hacia los polos de la célula y terminan en diferentes células al final de la meiosis I. Para cada par de homólogos, la orientación polar de los cromosomas paternos y maternos (en rojo y azul, respectivamente) es independiente entre sí. Esto resulta en arreglos distintos en metafase I que están señalados con un cuadrado amarillo. Como estas alternativas son igualmente probables, las plantas producirán números iguales de los ocho tipos de gametas dibujadas, por lo que se tiene una explicación física de las proporciones obtenidas por Mendel.

## La herencia no mendeliana

*Toda la herencia no se rige por los principios o leyes de Mendel*

En el siglo XX, los investigadores no sólo extendieron los principios de Mendel a diversos organismos, sino que demostraron que existen otros patrones hereditarios mucho más complejos que los que él explorara, y que los amplían. Veamos algunos...

### *La dominancia incompleta*



Como sugiere su nombre, hay casos en los que la dominancia de un gen sobre otro no es completa. Cuando ocurre, los heterocigotas son intermedios entre ambos progenitores. Un ejemplo lo ilustra sin dificultades: hay plantas de “conejito” flores rojas y otras con flores blancas y este carácter está regido por un par de genes tal como lo viera Mendel. Cuando se los cruza, la F<sub>1</sub> heterocigota debería ser toda roja si la dominancia fuera completa; no obstante, las plantas resultantes tienen flores rosa, ya que un solo alelo rojo puede producir un poco de pigmento para que las flores sean de ese color, pero no rojas. Observe la figura siguiente.

### *Los alelos múltiples y la codominancia. El caso de los grupos sanguíneos*

Con este ejemplo, vemos dos situaciones diferentes. En primer lugar, todos los genes que examinó Mendel mostraban únicamente dos variantes o alelos (por ej. semillas lisas o rugosas). Pero al estudiarse un gran número de genes y de

organismos, se comprobó que es muy frecuente la existencia de numerosos alelos de un mismo gen, de tres a más, conociéndose esta serie de genes como alelos múltiples. El tema es que cada individuo, por ser diploide, puede llevar sólo dos de esos alelos (en homocigosis o en heterocigosis) pero la población presentará mucha variabilidad ya que las posibles combinaciones de los distintos alelos varían en los diversos individuos.

Los grupos sanguíneos humanos se heredan a través de alelos múltiples. Los glóbulos rojos tienen un tipo de proteína en su superficie que los identifica. Esa proteína está codificada por un grupo de tres genes: dos alelos codominantes (A y B) y otro recesivo (0 = cero). Los alelos A y B son codominantes, es decir cuando se encuentran juntos, los dos se expresan igualmente y ninguno enmascara al otro, en tanto que si cualquiera de ellos se halla con el 0 son dominantes sobre él. Las posibles combinaciones en la población humana de estos tres alelos son las siguientes:

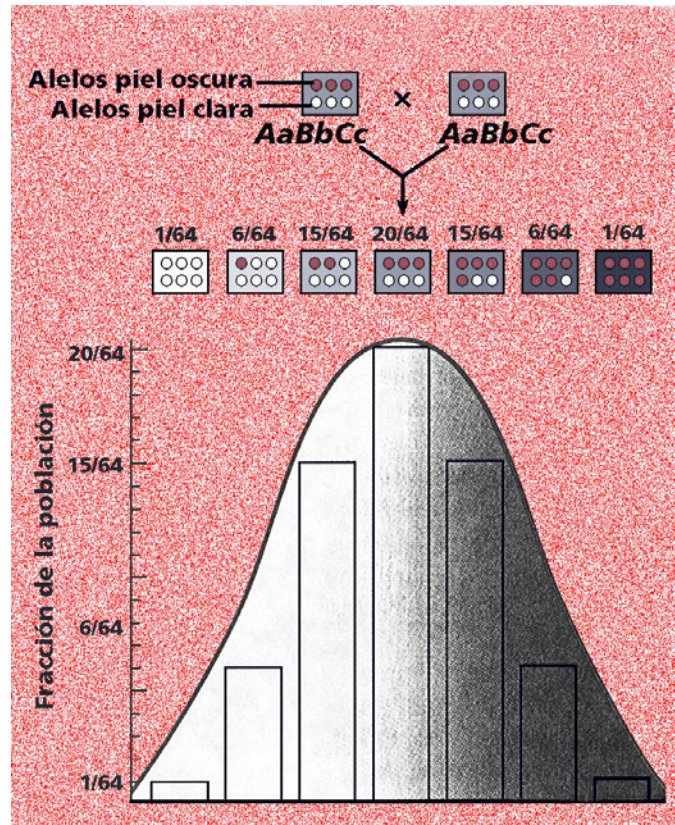
| <b>Alelos<br/>(genotipo)</b> | <b>Grupo sanguíneo<br/>(fenotipo)</b> |
|------------------------------|---------------------------------------|
| <b>AA, A0</b>                | <b>A</b>                              |
| <b>BB, B0</b>                | <b>B</b>                              |
| <b>AB</b>                    | <b>AB</b>                             |
| <b>00</b>                    | <b>0</b>                              |

Este ejemplo en el que el fenotipo es una proteína de los glóbulos rojos y el significado que esto tiene para la salud, es de utilidad para la enseñanza.

### *La herencia cuantitativa*

Mendel examinó casos en que, como vimos, un único par de genes determina el carácter. Sin embargo, muchos rasgos están controlados por varios pares de genes diferentes que actúan juntos para producir un mismo efecto fenotípico. En otras palabras, varios genes diferentes influyen en un único carácter. A esos genes se los llama **poligenes** y a este tipo de herencia, herencia cuantitativa ya que el fenotipo dependerá de la cantidad y calidad de genes presentes.

En el hombre, por ejemplo, son de este tipo de herencia el color de piel y la estatura. El caso del color de piel está determinado por tres pares de genes, el color de piel negro es dominante (**A, B, C**) sobre el blanco (**a, b, c**). Hay entonces una graduación entre el negro más oscuro (homocigota dominante para todos los genes: **AA BB CC**) y el blanco más claro (triple homocigota recesivo: **aa bb cc**), la cual dependerá de la combinación de estos tres genes que recibamos. Observe la figura siguiente. Por ello, el color de piel es muy variable en los seres humanos y, en una misma familia, se pueden encontrar distintas gamas de coloración.



### La pleiotropía

Hasta ahora se ha considerado que cada gen afecta la expresión de un único carácter fenotípico. Sin embargo, muchos genes tienen efectos múltiples. La habilidad de un gen para tener varios efectos se conoce como **pleiotropía**. Si se tienen en cuenta las múltiples interacciones celulares y moleculares responsables del desarrollo de un organismo, no es sorprendente que un gen pueda afectar a varias características de un organismo. Por ejemplo, el gen responsable de la anemia falciforme es responsable directo de la producción de una forma anormal de la hemoglobina. Su efecto más evidente es que los glóbulos rojos se vuelven falciformes en lugar de redondeados, pero al mismo tiempo causa una cascada de síntomas como rotura de los glóbulos rojos, taponamiento y ruptura de capilares y acumulación de glóbulos rojos en el bazo. Estos síntomas, a su vez, afectan funciones respiratorias, renales y neurológicas, entre otras.

### La epistasis

En algunos casos, un gen en un locus altera la expresión fenotípica de un gen en otro locus. Esta condición referida a la interacción entre pares de genes es conocida como **epistasis**. Este fenómeno es común en pares de genes responsables de la coloración del pelo o la piel de mamíferos. Por ejemplo, los perros labradores

tienen colores diferentes de pelaje: negro, marrón o amarillo. Esta coloración es producto de la cantidad y distribución de la melanina. Los alelos de un gen codifican una enzima requerida para la producción de melanina: el gen **N** (negro) tiene un efecto pronunciado en tanto que su alelo **n** (marrón) es menos pronunciado. Otro alelo controla la cantidad de moléculas de melanina que se depositan en los pelos de esos perros: **C** permite una deposición completa en tanto que **c** reduce la deposición. De acuerdo con la combinación de estos dos genes en el genotipo será el fenotipo del perro, ya que ambos contribuyen a su coloración como se detalla en este cruzamiento:

padres homocigotas **NN CC** x **nn cc**

**F<sub>1</sub>** **Nn Cc**

Combinaciones alélicas de la **F<sub>2</sub>** en una cruce de dos perros de la **F<sub>1</sub>**: **Nn Cc** x **Nn Cc**

| Gametas | NC           | Nc           | nC           | nc           |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| NC      | <b>NN CC</b> | <b>NN Cc</b> | <b>Nn CC</b> | <b>Nn Cc</b> |
| Nc      | <b>NN Cc</b> | <b>NN cc</b> | <b>Nn Cc</b> | <b>Nn cc</b> |
| nC      | <b>Nn CC</b> | <b>Nn Cc</b> | <i>nn CC</i> | <i>nn Cc</i> |
| nc      | <b>Nn Cc</b> | <b>Nn cc</b> | <i>nn Cc</i> | <b>nn cc</b> |

9/16 son negros porque tienen al menos un gen dominante de ambos alelos (en **negrita**).

3/16 son marrones porque son homocigotas para el gen recesivo **n** y tienen al menos un alelo dominante del gen **C** (en *itálica*)

4/16 son amarillos porque son homocigotas para el gen **c**, sin importar la combinación que tengan del gen **N** (en letra normal).

### *Impacto del ambiente en el fenotipo*

A partir del cigoto, se origina por una sumatoria de procesos el cuerpo de los organismos. Dichos procesos llevan un tiempo, ocurren en determinados lugares y consumen determinados alimentos. Todo ello hace que haya una interacción entre la herencia (el patrimonio genético de los seres vivos, su genotipo) y el ambiente en el que se desarrollan (temperatura, nutrientes disponibles, radiación solar, etc.). Así

como no hay dos seres idénticos por razones genéticas es imposible que dos seres idénticos genéticamente sean similares en su fenotipo, por razones ambientales.

El ambiente externo influencia los genotipos en los siguientes casos:

- la estatura y la inteligencia humanas están codificadas por varios pares de genes, pero si al niño no se le aportan los nutrientes necesarios para su desarrollo, por más que tenga genes para alcanzar una cierta estatura o capacidad en su inteligencia, no podrá alcanzarlas pues no contó con los elementos indispensables para su desenvolvimiento.
- los individuos que tienen los genes que desencadenan la enfermedad xeroderma pigmentosum que antes mencionamos, si no se expusieran nunca a los rayos ultravioletas del sol no desarrollarían cáncer de piel, aunque tengan predisposición para ello, y en rigor es lo que deben hacer para evitarlo.
- los gatos siameses tienen una enzima defectuosa para la producción de melanina: por calor esta enzima pierde su actividad. De este modo, en las regiones calientes del cuerpo de estos gatos no se formará la enzima y serán de color claro, en tanto que las regiones naturalmente más frías (como orejas, hocico, patas y cola) tendrán coloración oscura por la melanina, ya que la enzima será activa y permitirá que la melanina se forme allí.

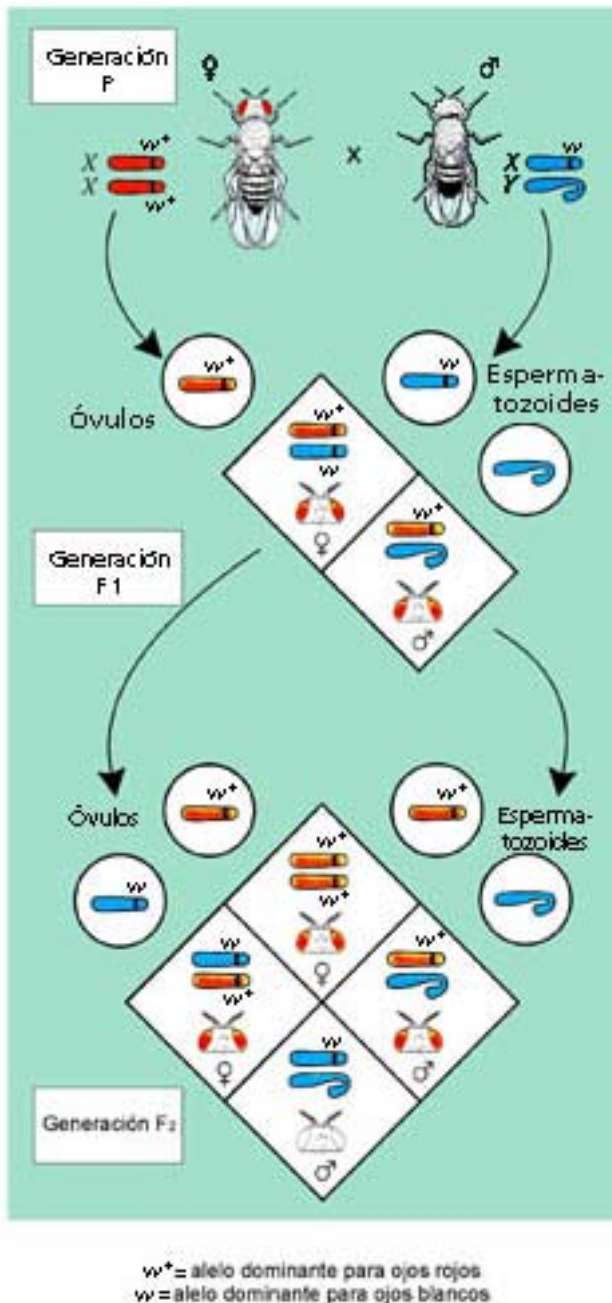
El ambiente interno también puede influir en la expresión de los genes, ya que enfermedades como la diabetes se manifiestan solo cuando las personas alcanzan una determinada edad, es decir, cuando su medio interno tiene determinadas características que estimulan el desenvolvimiento de la enfermedad.

### *Genes ligados*

El número de genes de una célula es mucho mayor que el número de sus cromosomas; en realidad, cada cromosoma tiene cientos o miles de genes. Los genes que se encuentran en el mismo cromosoma tienden a ser heredados juntos, ya que el cromosoma se hereda como una unidad; cuanto más cerca se encuentren en su posición cromosómica, más juntos se heredarán. Estos genes se dice que están ligados. Cuando se sigue la herencia de estos genes ligados, los resultados obtenidos generalmente difieren de los esperados de acuerdo con las leyes de Mendel. Recordemos que Mendel tuvo la suerte de que los siete caracteres que utilizó estaban en cada uno de los siete pares de cromosomas de la arvejilla, o sea no estaban ligados.

Fue el norteamericano Thomas Morgan (1866-1945) el primero en asociar un gen particular con un cromosoma específico a principios del siglo XX, y al mismo tiempo detectó los genes ligados. Es interesante recalcar que Morgan era escéptico

tanto del Mendelismo como de la teoría cromosómica, pero sus experimentos proporcionaron evidencia convincente de que en los cromosomas está en realidad la ubicación de los factores mendelianos o genes. Trabajó con la mosquita del vinagre (*Drosophila melanogaster*) que normalmente tiene ojos rojos, de la cual encontró un mutante que los tiene blancos. Cruzó un macho de ojos blancos con una hembra de ojos rojos y obtuvo una F1 toda con ojos rojos, lo que sugería que el fenotipo salvaje era dominante. Cuando cruzó estas moscas de la F1 entre sí obtuvo la clásica proporción mendeliana de 3 rojos: 1 blanca para la F2. Sin embargo, había algo sorprendente en los resultados, las moscas que tenían los ojos blancos eran siempre machos: todas las hembras tenían ojos rojos y los machos tenían la mitad ojos rojos y la otra mitad ojos blancos. Morgan dedujo que el gen para color de ojos estaba ubicado en un locus del cromosoma X y que no habría un gen correspondiente en el cromosoma Y, que es de menor tamaño. De este modo, las hembras tienen dos genes para color de ojo porque tienen dos cromosomas X, en tanto que los machos por tener cromosomas XY tienen una sola copia



de este gen. Como el gen mutante es recesivo, una hembra para tener ojos blancos tiene que recibir dos copias recesivas del gen, en tanto que el macho puede tener los ojos blancos cuando tenga una única copia de dicho gen, ya que se manifestará directamente. Estos genes ubicados en cromosomas sexuales se llaman genes ligados al sexo, como se tratará más adelante. Observe la lámina siguiente.

## El estudio de la herencia en los seres humanos

### *La herencia mendeliana en humanos*

Las arvejas son sujetos de experimentación muy convenientes para la investigación genética. Junto con estas plantas, otro "conejiño de indias" ha sido *Drosophila melanogaster*, en la que se han hecho innumerables cruzamientos y que ha servido y sirve para una enorme cantidad de experimentos genéticos. Ahora bien, ¿qué decir de la especie humana?

Una generación en el hombre ocupa aproximadamente unos 20 años y los padres producen, en general, poca descendencia comparada con las especies antes citadas. Con este panorama, hacer experimentos en humanos como los que hiciera Mendel con las arvejas es imposible y, además, es socialmente inaceptable. A pesar de estas dificultades, el estudio de la genética humana, motivado por el incentivo de entender nuestra propia herencia, ha tenido y tiene lugar. Como veremos un poco más adelante al analizar la biotecnología, las técnicas de biología molecular han llevado a importantes descubrimientos y posibilidades en el humano, pero el tipo de herencia mendeliana básica es también parte de la genética humana.

### *El uso de los árboles genealógicos*

Al ser imposible la manipulación de los cruzamientos entre la gente para hacer estudios genéticos ¿Cómo se solucionaron las dificultades técnicas? Se analizan los resultados de cruzamientos que ya han ocurrido. Así, se recoge tanta información como es posible sobre la historia de una familia en relación con un rasgo determinado, y esta información se reúne en un árbol familiar que describe las interrelaciones de padres e hijos a través de las distintas generaciones: **el árbol genealógico**.

Veamos dos casos ilustrativos que están incluidos en la figura que sigue. Ellos representan dos árboles genealógicos de la misma familia pero para dos caracteres distintos: el primero representa la ocurrencia del llamado "pico de viuda" (un contorno de la frente que muestra dos picos de entrada del cabello) en oposición a contorno normal (que simbolizamos con P), y el segundo la ocurrencia de lóbulos de la oreja libres o soldados (que simbolizamos con L). En las fotos respectivas pueden apreciarse las variantes de estos caracteres.

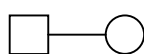
### *Un aporte para el aula*

Nos parece interesante que conozca una técnica para confeccionar árboles genealógicos y la enseñe a sus alumnos. Podrá incorporar la construcción y el análisis de este tipo de diagrama en las actividades que diseñe para la enseñanza de genética.

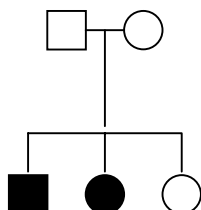
con un cuadrado se simboliza un hombre y con un círculo a una mujer



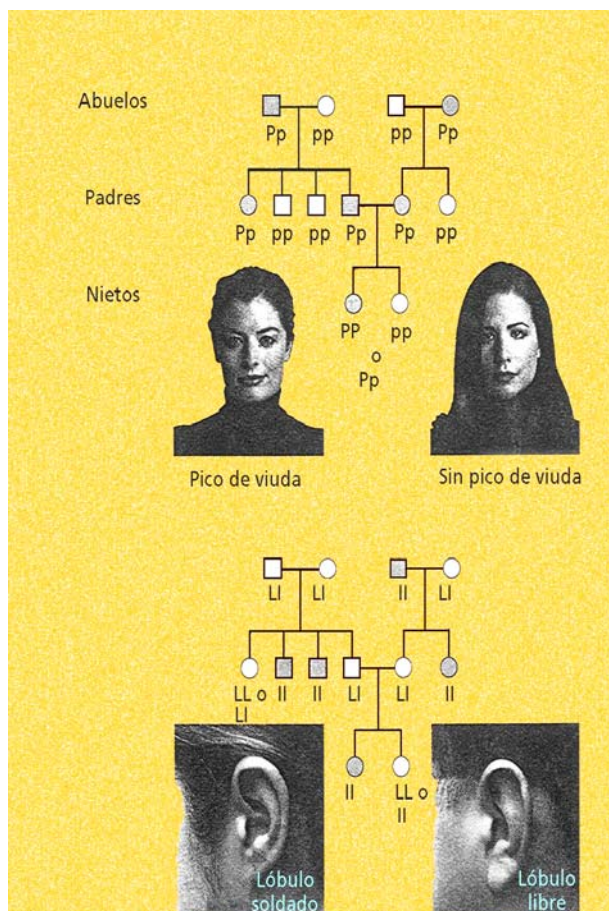
una línea horizontal que conecta un hombre y una mujer indica un matrimonio



los hijos se simbolizan unidos entre sí y unidos a los padres con una línea vertical hacia el centro de la línea horizontal que los une



los símbolos de hombre o mujer que están sombreados indican a aquellos individuos del árbol que tienen el carácter en estudio, como puede verse más arriba.



### **¿Cómo se razona para interpretar los árboles genealógicos?**

En el caso del "pico de viuda" que aparece en la figura anterior, se sabe que es un carácter dominante, por lo tanto, los individuos que no lo presentan (tienen un símbolo sin sombreado) serán homocigotas recesivos (pp). También podemos interpretar que los abuelos (la primera generación de la que se tienen datos) que tienen el carácter, son heterocigotas (Pp), ya que si fueran homocigotas dominantes, todos sus hijos e hijas tendrían ese carácter y no es así.

En la segunda generación, que en este caso serían los padres, se interpreta que los hijos e hijas que muestran el carácter son heterocigotas (Pp), ya que son productos del cruzamiento Pp x pp.

Los nietos o tercera generación del esquema son dos hermanas. La que no tiene el carácter será, por supuesto, homocigota recesiva (pp), pero la que lo presenta puede ser homocigota dominante (PP) o heterocigota (Pp); para saberlo, tendríamos que esperar a que tuviera descendencia y, a partir de sus hijos, intentar averiguarlo. Como se pueden imaginar, no siempre podemos saberlo.

El otro caso que aparece en la figura anterior es recesivo. Recordemos que estamos en la misma familia. Así, estamos seguros de que las personas que tienen los lóbulos soldados (símbolos sombreados) serán homocigotas recesivos (ll). Usando el mismo razonamiento que en el caso del “pico de viuda”, podemos decir que los abuelos que tienen el carácter serán heterocigotas (Ll), de lo contrario todo la descendencia tendría los lóbulos libres. Y lo mismo se aplica a las hermanas que son las nietas: la que muestra el carácter es homocigota recesiva (ll), y no sabemos si la que no lo presenta es homocigota dominante (LL) o heterocigota (Ll).

Estos árboles no sólo nos sirven para comprender el pasado sino también para predecir el futuro. Supongamos que el matrimonio de la segunda generación, que tuvo dos hijas, decide tener un hijo más. Podríamos calcular la probabilidad, por ejemplo, de que el nuevo descendiente tenga el pico de viuda. Siendo un cruzamiento Pp x Pp, habría 75% de probabilidades de que lo posea y 25% de que carezca de él. Si hace el cruzamiento, le quedará claro que las proporciones fenotípicas son 3 con pico de viuda y 1 sin él, o sea 75% y 25%, respectivamente.

Le proporcionaremos a continuación un listado de caracteres humanos regidos por la herencia mendeliana que fueron estudiados mediante la genealogía de las familias.

**Lista de caracteres comunes o enfermedades humanas y su herencia**

| <b>CARÁCTER</b>                     | <b>RECESIVO</b><br>(los individuos con el carácter son homocigotas) | <b>DOMINANTE</b><br>(los individuos con el carácter pueden ser heterocigotas u homocigotas) |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| color de pelo                       | rubio                                                               | Negro o castaño                                                                             |
| color de ojos                       | celestes                                                            | Marrón                                                                                      |
| pico de viuda en frente             | ausente                                                             | Con pico de viuda                                                                           |
| lóbulo de la oreja                  | soldado                                                             | Libre                                                                                       |
| tipo de grupo sanguíneo             | 0                                                                   | A, B, AB (alelos múltiples, codominantes)                                                   |
| factor sanguíneo Rh                 | Rh negativo                                                         | Rh positivo                                                                                 |
| posibilidad de "enrollar" la lengua | no puede                                                            | Puede                                                                                       |
| Longitud de las pestañas            | normales                                                            | Largas                                                                                      |
| arco del pie                        | normal                                                              | pie plano                                                                                   |
| braquidactilia                      | normal                                                              | Dedos muy cortos                                                                            |
| galactosemia                        | no digiere lactosa                                                  | Normal                                                                                      |
| acondroplasia                       | normal                                                              | Enano                                                                                       |
| polidactilia                        | normal                                                              | Manos con 6 dedos                                                                           |
| albinismo                           | sin pigmentación                                                    | Normal                                                                                      |
| fenilcetonuria                      | enfermo                                                             | Sano                                                                                        |
| anemia falciforme                   | enfermo                                                             | Sano                                                                                        |
| fibrosis quística                   | enfermo                                                             | Sano                                                                                        |
| corea de Huntington                 | sano                                                                | Enfermo                                                                                     |
| Hipercolesterolemia familiar        | normal                                                              | Alto colesterol                                                                             |



## ACTIVIDAD N° 19

Como hemos discutido, los hallazgos y principios de Mendel fueron pioneros en el tema de la herencia, pero, como es lógico con el progreso de la ciencia, en el siglo XX esos descubrimientos fueron completados y ampliados. También en el siglo XX adquiere gran importancia analizar los procesos de la herencia en los seres humanos.

Le proponemos aquí reconstruir estos saberes con una actividad en dos etapas. En la primera podrá hacer su propia reconstrucción de los contenidos biológicos desarrollados y en la segunda podrá reflexionar sobre la transferencia al aula de esos contenidos.

1.

- a) Retome los conceptos desarrollados anteriormente. Señale cuáles fueron las ampliaciones realizadas a la teoría de Mendel e indique para qué tipo de organismos corresponden.
- b) Elabore a continuación, una lista de los nuevos conceptos que se incorporaron al cuerpo de conocimientos en biología a partir de los trabajos de Gregor Mendel.

2. Los seres humanos no escapamos a las leyes de la herencia formuladas por Mendel. Una forma de comprender más fácilmente si la transmisión hereditaria funciona, es confeccionando árboles genealógicos.

- a) Utilice la técnica para confeccionar un árbol genealógico explicada en “**Un aporte para el aula**”, la forma de hacer su interpretación y la lista con caracteres genéticos humanos que le proporcionamos. Diseñe una actividad para que sus alumnos puedan implementar esta metodología.

b) Conteste:

-¿Cree que podemos de esta forma hacerles investigar a los alumnos sobre sus propias familias?

-¿Qué significado adquirirá esta actividad en los adolescentes? (Hay que tener la precaución de considerar la existencia de alumnos adoptados en el aula).

-¿Qué otro alcance le podemos dar a la actividad si la relacionamos con la tabla que incluye caracteres comunes o enfermedades y su herencia?

Le sugerimos que busquen en algún texto, diccionario o enciclopedia disponible los problemas que causan las enfermedades citadas.

Esta actividad 19 retoma el tema de las técnicas en biología. Desde la investigación su uso es frecuente y hasta su invención es motivo de alguna indagación particular. Pero cobran sentido en la medida en que nos brindan datos útiles para

corroborar el marco teórico del que partimos. Al transferir las técnicas a la enseñanza, también debemos cuidar el sentido con que lo hacemos. Ya vimos en el capítulo anterior (3), con la construcción de cariotipos, el uso que podíamos hacer de la técnica en la clase. En el contexto de la unidad didáctica las técnicas formarán parte de una secuencia, guiada por un objetivo, con relación a la construcción de algún contenido.

Hecho el anterior paréntesis metodológico continuamos ahora con el tema de la herencia y el sexo para analizar otras funciones de los cromosomas sexuales.

### *La herencia ligada al sexo*

Además de su papel en la determinación del sexo, los cromosomas sexuales poseen genes para muchos caracteres no relacionados con el sexo, sobre todo los cromosomas X. Si los genes se encuentran ubicados en estos cromosomas, se dice que están ligados al sexo. La herencia relacionada con los cromosomas Y es cuestionable o inexistente, por lo que no se la tendrá en cuenta.

En estas situaciones, no sólo cuenta el tipo de genes que se reciben sino el sexo de los portadores. Así, los padres pasan genes ligados al cromosoma X únicamente a hijas mujeres y nunca a los varones. En cambio, las madres pueden pasar dichos genes tanto a hijas como a hijos. El efecto de los genes en ellos, dependerá de su sexo y del tipo de alelo de que se trate: recesivo o dominante. Veamos algunos ejemplos en los cuales un gen recesivo ocasiona una enfermedad en los portadores:

- Un padre con un alelo recesivo será enfermo y transmitirá ese gen a todas las hijas, ya que ellas recibirán un cromosoma X suyo, pero a ningún hijo, ya que ellos heredarán su cromosoma Y. El efecto en las hijas dependerá del genotipo de la madre y la posibilidad de que sean homocigotas para ese gen (lo manifestarán y estarán enfermas) o heterocigotas (serán portadoras sanas). En este caso, los hombres tienen sólo un gen, y no un par como es habitual, ya que el cromosoma homólogo del X es el Y que carece de dichos genes. Por eso, se dice que son **hemicigotas** (ni homocigotas ni heterocigotas, condiciones propias de genes que se presentan de a pares).
- Una mujer portadora sana (heterocigota) que tiene hijos con un hombre normal, pasará la mutación a la mitad de sus hijos y la mitad de sus hijas. Los hijos con este gen tendrán la enfermedad, en tanto que las hijas que poseen ese gen serán heterocigotas y portadoras sanas como su madre. La otra mitad de hijas e hijos será normal.

- Si una mujer portadora se casa con un hombre enfermo, hay 50% de probabilidades de que cada hijo tenga la enfermedad, sin importar el sexo. Las hijas sanas serán todas portadoras, mientras que los hijos sanos no tendrán el alelo recesivo.

Si el alelo ligado al cromosoma X es dominante, entonces las hijas o mujeres heterocigotas también expresarán la enfermedad. En este caso, un hijo no puede heredar el alelo dominante de su padre, pero todas sus hijas lo heredarán.

Entre las enfermedades humanas más notorias que tienen este tipo de herencia se encuentran la hemofilia, la distrofia muscular infantil y el daltonismo, entre los genes recesivos, y dientes con esmalte defectuoso, entre los dominantes.



## ACTIVIDAD N° 20

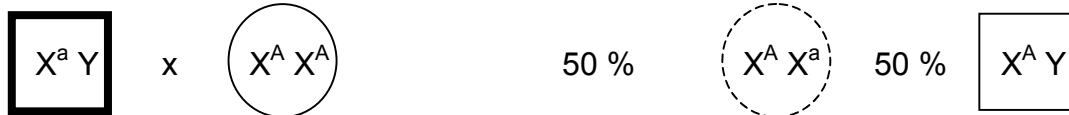
Con esta actividad usted podrá realizar un cierre parcial de los contenidos biológicos del capítulo y así comenzar a planificar una UD relacionada con la transmisión hereditaria. Para ello le proponemos las tareas siguientes.

1. Analice los tres esquemas que aparecen a continuación e indique el tipo de herencia ligada al sexo en cada caso. Tenga en cuenta que X e Y simbolizan los cromosomas sexuales; el sexo está representado por el círculo y el cuadrado, como en los árboles genealógicos; los superíndices **A** o **a** indican los genes dominantes y recesivos respectivamente ligados al cromosoma; cuando en la figura del sexo la línea es gruesa, el individuo es enfermo, cuando la línea es cortada, el individuo es portador sano; en cambio si la línea es fina significa que el individuo es sano.

A)

Padres

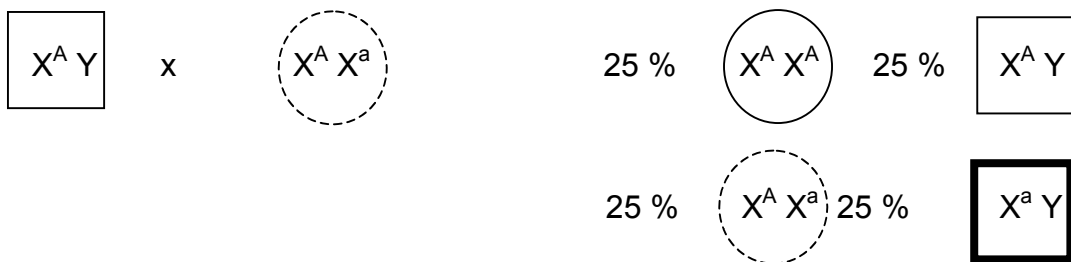
Descendencia



B)

Padres

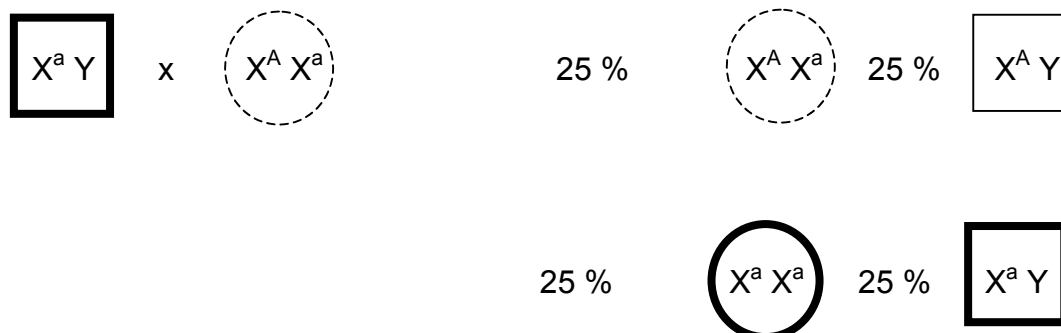
Descendencia



C)

Padres

Descendencia



2. Lea el Glosario que le presentamos al final de estas consignas. Revise si incluye los diferentes conceptos analizados en este capítulo. Complételo, si lo considera necesario.
3. Relea los conceptos sobre la UD que aparecen al comienzo de este capítulo ("Aportes didácticos") e inicie el esbozo de una UD para el tema de la transmisión de la información hereditaria de generación en generación. Para ello determine ¿Qué diagnosticaría? ¿Cuál sería el eje y el enfoque? Y, en función de las respuestas que da a estas preguntas indique qué secuencia y relaciones establecería entre los conceptos incluidos en el glosario que revisó en el punto 2.



### **GLOSARIO:**

**GEN:** Secuencia particular de una molécula de ADN que representa la unidad funcional de la herencia.

**ALELO:** Una de las dos o más formas alternativas de un gen que ocupa el mismo locus en un cromosoma.

**LOCUS** (plural **LOCI**): posición del gen en el mapa genético del cromosoma. Los genes alélicos se sitúan en los mismos loci de cromosomas homólogos.

**HOMOCIGOSIS (HOMOCIGOTA)- HETEROCIGOSIS (HETEROCIGOTA):** en organismos superiores, con individuos diploides, se dice que los heterocigotas son aquellos que poseen diferentes alelos en uno o más loci de cromosomas homólogos, en contraste con los homocigotas que presentan idénticos alelos en esos loci.

**GENOMA:** conjunto de todos los genes de un organismo.

**GENOTIPO:** suma total de la información genética contenida en los cromosomas de un individuo, y distinta de su fenotipo.

**FENOTIPO:** conjunto de las propiedades observables de un organismo, tanto estructurales como funcionales, macroscópicas y microscópicas, producidas por la interacción entre su genotipo y el ambiente en que se desarrolla.

**DOMINANTE:** carácter genéticamente controlado y su correspondiente alelo, que se manifiesta en todos los heterocigotas de la F1 de un cruzamiento entre dos homocigotos.

**RECESIVO:** carácter genéticamente controlado y su correspondiente alelo, que se manifiesta fenotípicamente cuando los alelos se encuentran en estado homocigota.

**MUTACIÓN:** cualquier cambio detectable y heredable en el material genético no causado por segregación o recombinación, que es transmitido a las células hijas o a los individuos hijos.

F1: primera generación filial de un cruzamiento, F2 segunda generación, y así sucesivamente.

**PRINCIPIO DE LA UNIFORMIDAD DE LA F1:** cuando se cruzan dos líneas homocigotas que difieren en un particular carácter, los individuos de la F1 son uniformes y normalmente expresan uno de los dos caracteres, el dominante.

**1ª LEY (PRINCIPIO DE SEGREGACIÓN):** los gametos sólo transportan uno de los dos alelos presentes en el progenitor, de modo que segregan independientemente en los mismos.

**2ª LEY (PRINCIPIO DE LA TRANSMISIÓN INDEPENDIENTE):** los miembros de diferentes pares alélicos se transmiten independientemente cuando las gametas se forman, salvo que los genes en cuestión estén ligados, es decir, estén ubicados en el mismo cromosoma.

La integración anterior le debe haber permitido retomar lo visto y comenzar a tomar decisiones relacionadas con la enseñanza de estos temas. Principalmente con la selección de contenidos.

Como habrá podido apreciar la mayoría de ellos tienen un contexto de explicación desde la ciencia básica y seguramente esto usted lo trasladó al diseño de su UD.

Tomaremos ahora estos contenidos como requisitos previos para aplicarlos a un contexto que relaciona las problemáticas de la ciencia, la tecnología y la sociedad. Esto le permitirá pensar en una posible modificación a la estructura de su UD. Todo depende desde dónde quiera comenzar.

## La manipulación genética

### *¿Puede el ser humano manipular el material genético?*

La naturaleza ha venido realizando incontables experimentos genéticos desde hace un largo tiempo. Si tenemos en cuenta que se considera que la vida en nuestro planeta surgió hace unos 3.000 millones de años, podemos decir que, desde entonces, la naturaleza viene trabajando en ellos... Estos experimentos producen cambios en los mensajes genéticos que conducen a la variabilidad genética a través de mutaciones, cambios en la estructura y el número de los cromosomas, entrecruzamiento y distribución al azar de los cromosomas en meiosis, entre los que hemos analizado. Esta es la fuente de la diversidad de la vida.

Los hombres también hemos producido cambios genéticos en numerosas especies. Todo comenzó después de que la agricultura y la ganadería se instalaran como prácticas comunes de nuestros antecesores. Por varios miles de años hemos estado modificando tanto especies animales como vegetales, seleccionando variedades cultivadas o criadas con rasgos que nos interesan; baste recordar la cantidad de razas de gatos, perros y ganado vacuno que se han desarrollado a partir de un *stock* original. A este proceso, se lo denomina selección artificial.

Así, los humanos propagamos, por ejemplo, variedades de maíz con granos más grandes y ricos en almidón, naranjas más dulces y grandes, rosas más bellas y perfumadas, ganado con mayor rendimiento de carne, trigo con espigas más fáciles de cosechar y con mayor rendimiento por hectárea, como estos existen innumerables ejemplos. Todas estas variedades se han realizado al principio intuitivamente y luego con fundamento científico, cruzando individuos de las poblaciones por varias generaciones hasta que se consigue que el carácter en cuestión se mantenga a lo largo de las generaciones siguientes, es decir se fije.

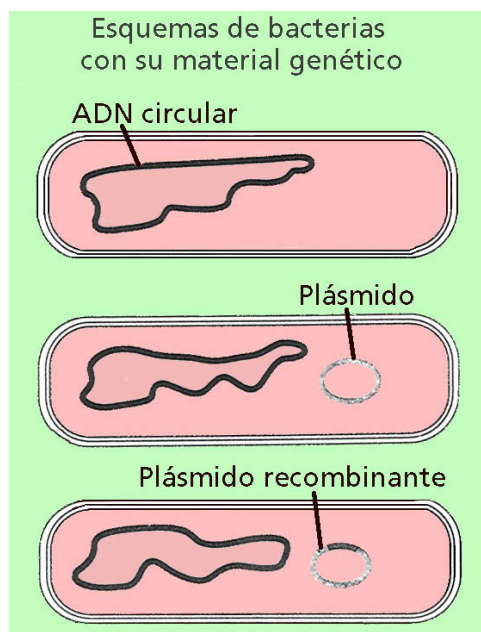
Cuando se trata de cruzar individuos de distintas especies, normalmente existen barreras naturales que previenen el intercambio genético entre ellas. Y es natural que así sea, ya que las especies se definen y se determinan por los genes que llevan. Sin embargo, el hombre ha engendrado híbridos de manera artificial, es decir individuos procedentes de cruzamientos entre especies relacionadas, como por ejemplo entre trigo y centeno, entre caballo y burro, entre tangerina y pomelo. En la naturaleza es muy difícil que se produzcan, pero los investigadores pueden forzar esos cruzamientos, y en ocasiones tener éxito. De todos modos, estos híbridos suelen ser estériles (no pueden reproducirse), pero de todos modos, el cometido por los que se los produce tiene sentido en términos económicos.

Un paso más complejo sería cruzar especies no emparentadas o muy diferentes. Y en este caso, sólo existen en la mitología, por ejemplo: el minotauro, la esfinge, las sirenas, los centauros, etcétera. Pero el hombre ha desarrollado a partir de los años 70, una increíble tecnología por medio de la cual podemos cortar y unir ADN de diferentes especies, aún completamente distintas, e insertar estas moléculas modificadas (conocidas como ADN recombinante) en bacterias u otras células que tienen una rápida replicación y división celular. Estas células copian su propio ADN a la par que el ADN extraño que tienen insertado y en poco tiempo producen grandes cantidades de moléculas de ADN recombinante. A esta tecnología se la llama tecnología del ADN recombinante y es la base de la ingeniería genética, por la cual se aíslan genes, se los modifica y se los vuelve a insertar en el mismo organismo o en otros diferentes.

Se puede definir la ingeniería genética como la manipulación directa de genes con propósitos prácticos y a la biotecnología como la manipulación de organismos o de sus componentes para realizar tareas prácticas o fabricar productos útiles.

Se considera que las prácticas que llevan miles de años entre nosotros -como el uso de microorganismos para hacer vino y queso y la selección artificial antes mencionada-, son ejemplos de biotecnología que se basan en los procesos naturales de mutación y recombinación. Ahora se usa, desde luego, la técnica del ADN recombinante y su espectro de acción es mucho más amplio y casi fantástico, ya que las combinaciones genéticas originadas nunca serían formadas en el curso de la evolución o la recombinación genética natural.

Veamos un poco en detalle estos sorprendentes procesos. Los mismos son complicados y requieren de técnicas bioquímicas y bacteriológicas refinadas. Por lo común, se utilizan bacterias que tienen plásmidos (observe la figura siguiente). Todas las bacterias tienen una molécula circular de ADN con todos los genes que requieren para crecer y reproducirse. Además, algunas tienen una pequeña molécula adicional, también circular de ADN, en la cual se encuentran genes no necesarios para la supervivencia de las bacterias, aunque a veces poseen genes útiles que les confieren resistencia a ciertos antibióticos, es decir, pueden crecer con estos productos que matan a las bacterias que no tienen dicho gen. Estas pequeñas moléculas de ADN se conocen como plásmidos y las que los detentan, los transmiten a sus células hijas.



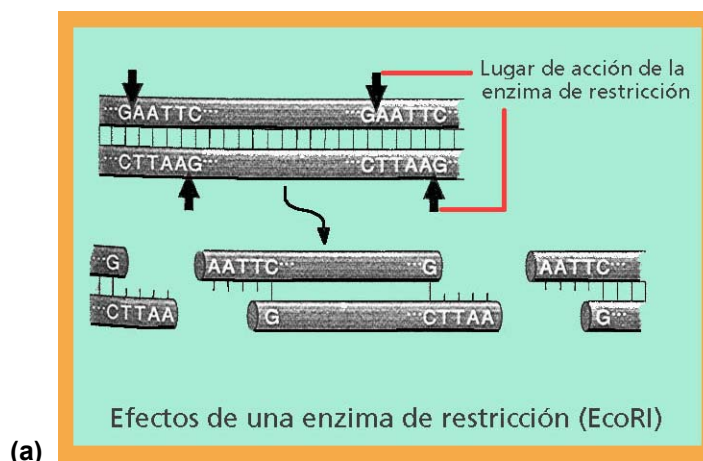
Vayamos al esquema general de las técnicas del ADN recombinante, en las cuales los investigadores usan plásmidos para realizar recombinación genética en el laboratorio.

### ¿Cuáles son los elementos básicos?

1. Un método para romper y unir moléculas de ADN de distintas fuentes, en otras palabras, para producir un ADN recombinante.
2. Un método para amplificar el ADN recombinante, es decir obtener muchas copias del mismo.
3. Un portador genético adecuado, capaz de reproducirse a sí mismo y al ADN extraño ligado a él.
4. Un método para introducir la molécula de ADN recombinante en el portador.
5. Un método para seleccionar de una gran población de células, aquellas células que hayan efectivamente recibido el ADN recombinante.

Veamos rápidamente cada uno de los pasos:

1. Para romper y unir moléculas de ADN de distintas fuentes se usan enzimas de restricción. Se trata de enzimas bacterianas que son utilizadas como defensa frente a bacteriófagos. Las bacterias poseen estas enzimas capaces de reconocer y cortar ADN foráneo a la célula bacteriana. Así, el ADN viral que ingresa a la bacteria es destruido y no hay infección. En otras palabras, estas enzimas actúan como "tijeras" especiales que cortan el ADN cada vez que encuentran una determinada secuencia, como se aprecia en la figura siguiente. El ADN propio de la bacteria es modificado químicamente en dichas células para que no sea reconocido por estas enzimas. Se corta entonces el ADN de los plásmidos y el ADN que se desea insertar en él con la misma enzima de restricción, y se los mezcla en un medio apropiado. Como las secuencias son complementarias tienden a unirse. Se crean así plásmidos recombinantes que tienen un trozo de ADN de otro organismo, en el cual se encuentra el gen en el que se tiene interés.



2. Estos plásmidos se obtienen en pequeñísimas cantidades, por lo cual se necesita un método para amplificarlo y hacer muchas copias. Se usa un método llamado reacción de polimerasa en cadena, que es un método bioquímico que lo hace en velocidad. Este es el mismo método que se emplea cuando en escenas de un crimen se obtienen pequeñísimas porciones de ADN del sospechoso, las cuales deben ser amplificadas para que se puedan practicar los tests necesarios. El proceso se inicia con un ADN bicatenario con la secuencia que se desea copiar. Se lo calienta para separar las cadenas y se agrega ADN polimerasa, cantidades suficientes de sus cuatro nucleótidos y “*primers*” (pequeñas moléculas de ADN de una cadena sintetizadas en laboratorio que son complementarias con los dos extremos de la región que se desea copiar). Se lo enfría para permitir que estos *primers* se unan con las regiones complementarias. Estas secuencias sirven como iniciadoras de la replicación que comienza a llevarse a cabo. En unos 5 minutos, la secuencia deseada de ADN se encuentra en dos copias (una por cada cadena inicial). El proceso se reinicia, y al final se obtienen 4 copias, y así sucesivamente una y otra vez, hasta que en progresión geométrica se producen suficientes copias de la región de ADN deseada.
3. El portador genético adecuado normalmente son bacterias que aceptan el plásmido extraño y son capaces de reproducirse a sí mismas y al plásmido con el gen extraño ligado a él. Pueden ser también levaduras u otros microorganismos similares.
4. Para introducir la molécula de ADN recombinante en el portador se ponen células vivas del futuro portador junto con los plásmidos recombinantes. Algunas lo aceptarán y se reproducirán con él, pero otras no. ¿Cómo reconocerlas? Es el siguiente paso.
5. Para seleccionar de una gran población de células, las células que efectivamente han recibido el ADN recombinante se puede: a) usar un plásmido que tenga un gen que otorgue resistencia a un determinado antibiótico a la bacteria que lo posea; entonces, si se hacen crecer las células expuestas al plásmido recombinante en dicho antibiótico, sólo podrán crecer aquellas que efectivamente lo hayan incorporado, o b) usar sondas radiactivas que marquen el gen que se ha insertado y así se puede localizar sin duda las células que tienen el plásmido recombinante.

### *¿Cuáles son las aplicaciones de la tecnología del ADN recombinante?*

Noticias sobre estas aplicaciones aparecen cotidianamente en los medios de difusión. Examinemos las más importantes.

### **En la medicina y la industria farmacéutica**

En estos aspectos es muy importante la conclusión del Proyecto Genoma Humano, por el cual en la actualidad se conoce la localización y composición de todos los genes del hombre, siendo particularmente esenciales los involucrados en enfermedades.

Se pueden diagnosticar enfermedades con certeza, aún antes de que se manifiesten en los portadores y antes de que los bebés nazcan.

Aunque aún falta mucho por concretar, se podrían hacer terapias génicas introduciendo genes normales en personas que los tienen defectuosos, por lo que se comportarían como sanas.

Se pueden obtener productos de uso farmacéutico, incorporando el gen adecuado en bacterias, levaduras u otro microorganismo que se reproduzca fácilmente. Esto es importante para producir grandes cantidades, a menor costo, de productos que de otra manera deberían obtenerse, por ejemplo, matando una gran cantidad de animales. Se utilizan para producir insulina con esta comparación: para obtener 5 miligramos hacen falta unos 500.000 páncreas de carnero o bien 10 litros de cultivo de una bacteria que tenga inserto el gen apropiado. También se producen hormonas, anticuerpos, etcétera.

### **En la resolución de problemas ambientales**

Se usa la habilidad de las bacterias para transformar productos químicos cuando se les agregan los genes necesarios para que, por ejemplo, extraigan minerales pesados del medio, o absorban y transformen productos tóxicos o parte de los compuestos del petróleo cuando se vuelcan estos productos al ambiente.

### **En agricultura**

Durante décadas se ha tratado diversos animales de uso ganadero con productos obtenidos con estas técnicas, por ejemplo darle a vacas lecheras hormona bovina de crecimiento, lo cual aumenta su rendimiento. También se han producido animales transgénicos, organismos con genes de otras especies, lo cual se hace inyectando ADN foráneo en los núcleos de óvulos o de embriones en temprano desarrollo, algunos de los cuales lo aceptan e incluyen los genes inyectados en sus cromosomas.

Estas técnicas son más fáciles de realizar con plantas por lo que se ha trabajado más con ellas, ya que es también más sencillo incluirles bacterias con los genes deseados. Así, se han logrado variedades de cultivo resistentes a herbicidas, con lo cual se puede matar a las malezas del cultivo sin afectarlos, o hacerlos resistentes a patógenos y a insectos. Otras aplicaciones, incluyen por ejemplo, tomates que no maduran rápidamente por lo que se facilita su manejo. Todos ellos son plantas transgénicas.

### **En la justicia**

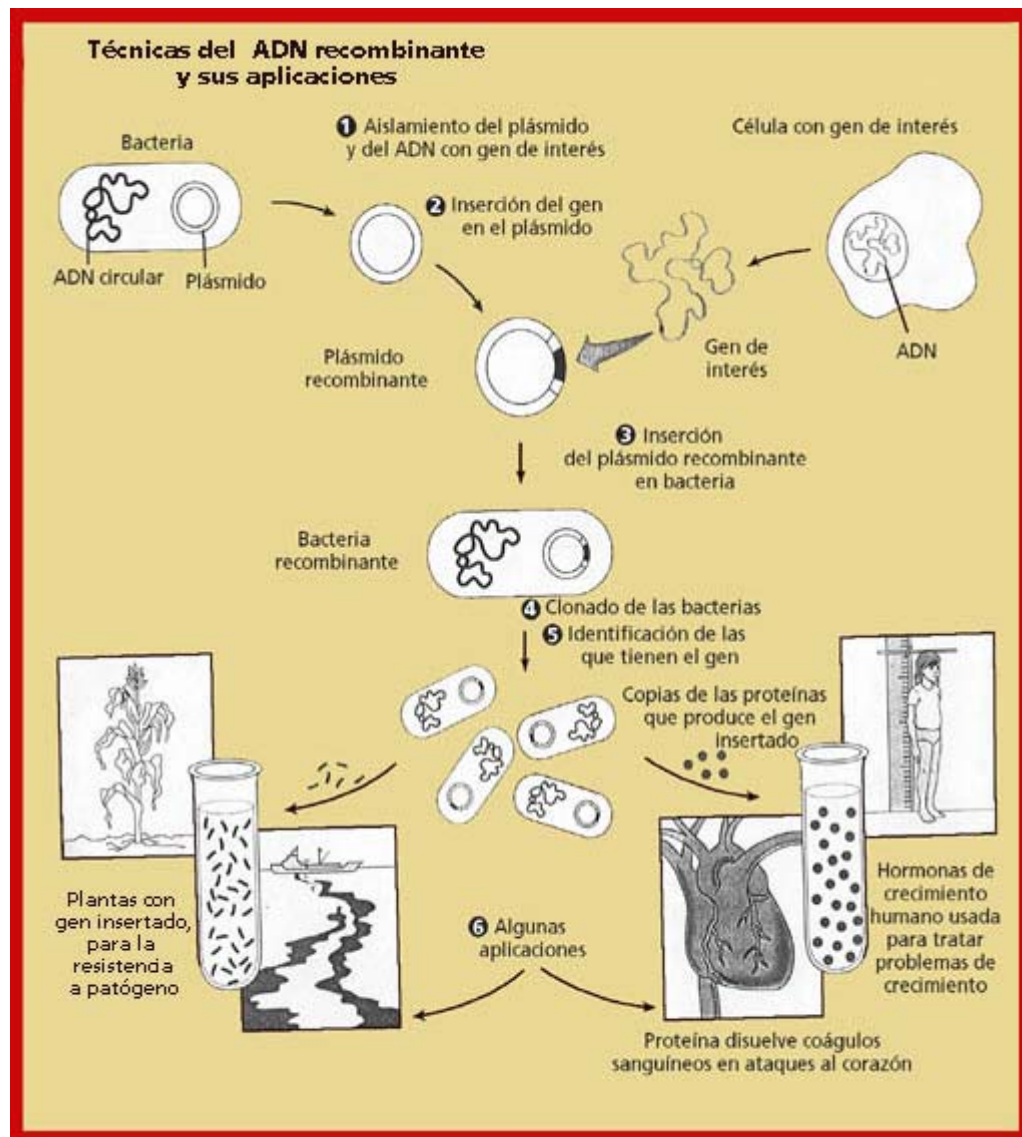
Se trata básicamente del uso forense del ADN y nos extendemos en su explicación.

Cada ser vivo es único, por lo tanto cada hombre es único. La reproducción sexual asegura que, a excepción de los gemelos idénticos, todos tengamos una secuencia única de ADN en nuestras células. Por ello, cada individuo puede ser caracterizado por esta secuencia, casi tan bien como por sus huellas digitales, si se usa la metodología adecuada. Estos métodos se utilizan para identificar crímenes, violaciones, etc., sobre la base de restos de sangre, semen o tejidos del supuesto criminal que hayan quedado en la escena. También se recurre a ellos para determinar paternidad en casos conflictivos. Siempre son métodos eficientes, que dejan un pequeño porcentaje de duda, y tienen la ventaja de que para ser aplicados requieren mínimas cantidades de tejido.

Idealmente, para distinguir a cada persona de las restantes deberíamos conocer la secuencia completa de su ADN. Pero eso es impráctico, ya que el genoma completo del hombre contiene más de 3.000 millones de nucleótidos. Entonces, hay métodos indirectos que se valen de genes altamente polimórficos, es decir genes que como en el caso de los alelos múltiples, tienen muchas variantes en la población y, por lo tanto, son diferentes en los diferentes individuos. También se usan secuencias repetidas de ADN que son comunes en el genoma y muy variables entre las distintas personas.

Rápidamente podemos explicar la técnica como sigue. El ADN del sujeto en estudio se lo expone a enzimas de restricción que lo cortan en fragmentos cada vez que encuentran una secuencia de bases determinada. Así, resultan determinados fragmentos sobre la base de la cantidad de veces que esa secuencia esté repetida. Como cada ADN es único, la cantidad de fragmentos difícilmente será la misma. Enseguida, los fragmentos obtenidos se separan por electroforesis. Luego, se marcan los fragmentos con radioactividad para reconocer similitudes y diferencias entre las muestras, usando marcadores de genes polimórficos o de secuencias repetidas de ADN como decíamos precedentemente. Al final, podemos comparar los patrones obtenidos, por ejemplo del ADN del sujeto sospechoso del crimen y de los restos hallados en la escena del crimen, o del supuesto padre y del supuesto hijo. Al tener cada persona un patrón propio de fragmentos (o bandas, ya que en la técnica se observan como bandas) es muy poco probable que dos individuos tengan el mismo patrón.

Se presenta una síntesis de estas técnicas y de sus aplicaciones en la figura siguiente.

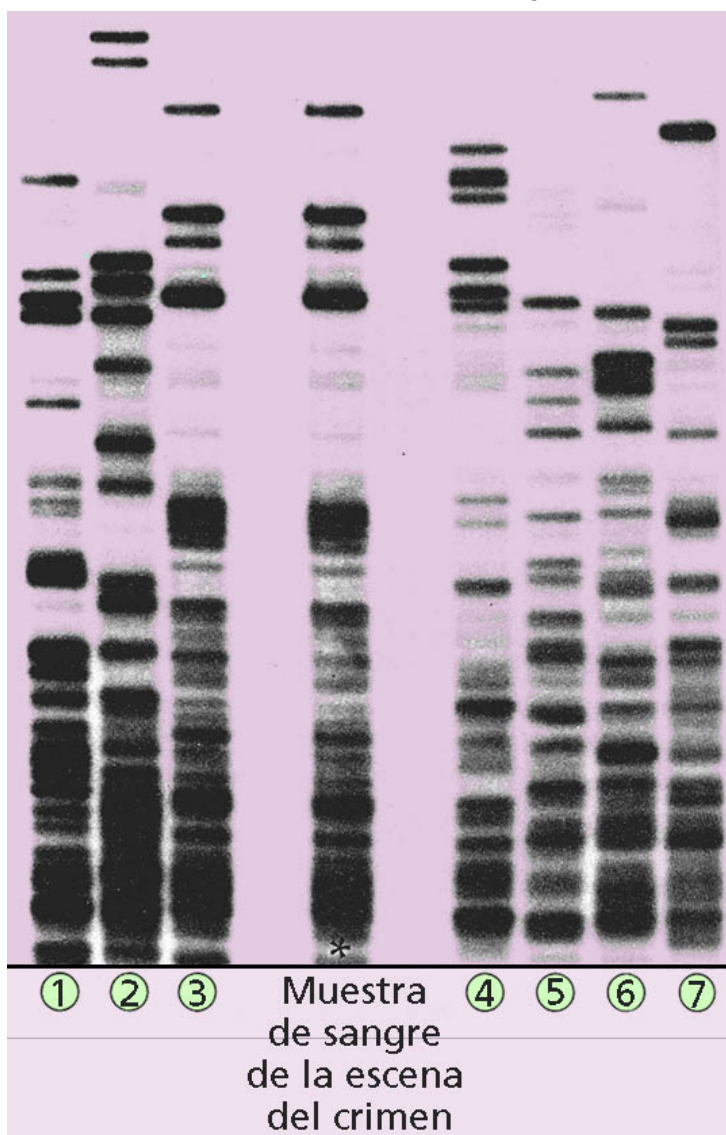


Los conceptos anteriores pueden ser usados con sus alumnos en el análisis de una situación problemática. A continuación le presentaremos una actividad que, seguramente si la implementa en el aula, será incentivadora para sus alumnos. En por ello que debemos buscar la forma de sacarle el mayor provecho.



## ACTIVIDAD N° 21

1. Un grupo de alumnos resuelve las siguientes consignas. A los efectos de proseguir con el trabajo de reflexión sobre las actividades le sugerimos que también usted las resuelva.
  - a. Analicen la siguiente figura. En ella se comparan las muestras de sangre de siete personas (números con círculos) sospechosos de un crimen, con una muestra de sangre encontrada en la escena del crimen (aparece, sin número, en el centro de la figura). Las muestras fueron tratadas con la técnica explicada más arriba.



2. Para conocer, a partir de ese análisis, si existen evidencias que permitan culpar a alguno de los sospechosos, respondan a las siguientes preguntas:
  - ¿Cómo podemos saber si uno de ellos cometió el crimen? Elabore una justificación pensando que son los especialistas y deben explicarle a las autoridades policiales la evidencia encontrada.
  - Listen los conceptos que tuvieron que retomar para elaborar su explicación.
3. Ahora, desde su rol docente, lo invitamos a pensar en cómo llevar esta actividad al aula. Para ello le solicitamos:
  - a) Retome toda la secuencia de contenidos biológicos que se desarrollaron en este capítulo. Exprésela en un listado o de la manera que usted acostumbre. (Puede ser un diagrama o un cuadro).
  - b) Reelabore la secuencia de contenidos del punto anterior (2.a), es decir, seleccione y organice una secuencia particular, adecuada a su realidad educativa.
  - c) Señale y justifique en qué momento de dicha secuencia sería pertinente incluir la actividad que le proporcionamos en el punto 1. Piense por ejemplo, si sería de apertura, de desarrollo o de cierre, o si la podría retomar en dos momentos diferentes con distinto nivel de complejidad.
  - d) ¿De qué manera la presentaría a sus alumnos? ¿Como un problema, un relato, una noticia, un cuento de ficción? Desarrolle la forma que eligió.
  - e) ¿Cuáles serían los logros que podríamos esperar de los alumnos después de resolverla y comprender los conceptos involucrados?
4. Le sugerimos que intercambie sus opiniones y decisiones respecto del punto 2 con algunos de los compañeros de curso.

Muchas veces los alumnos no comprenden el alcance social que tienen determinados conocimientos básicos. El ejemplo anterior puede ser usado para revertir esta imagen.

Aparte de dicho contenido actitudinal también, como en actividades anteriores, sirve para integrar y transferir contenidos conceptuales y procedimentales que, además, son posibles de compartir con otras disciplinas. Por ejemplo si retoma el grado de especificidad disciplinar, (estructura de la UD) quizás esta actividad pueda ser nucleante de un trabajo interdisciplinario con lengua y tecnología.

Continuando ahora con la información que se relaciona especialmente con los contenidos actitudinales y conceptuales, que ya habíamos comenzado a desarrollar en el capítulo anterior, en el tema de clonación, lo invitamos a trabajar sobre la posible respuesta a la siguiente pregunta.

*¿Cuáles son los problemas éticos y de seguridad que estas técnicas plantean?*

***La tecnología no es un problema;  
el problema reside en la relación de quienes la usan.***

***Eric Cassel***

Veamos lo que presenta sobre esta temática un especialista en la enseñanza de la genética llamado Vicente (2000):

“La biotecnología comenzó hace diez mil años, cuando tribus hasta entonces cazadoras y recolectoras comenzaron a repetir intensivamente algunos hábitos como replantar trozos de los tubérculos que recogían, una costumbre que conservaron algunos aborígenes australianos hasta épocas históricas. A partir de ahí la humanidad ha conseguido modificar a los seres vivos y aprovecharse de ellos, un proceso de selección genética que llamamos domesticación.

¿Por qué un arte tan antiguo ha ocupado la cabecera de tantos noticieros desde hace más de una década?. Posiblemente porque en estos últimos años se han realizado avances científicos fundamentales, que permiten entender mucho mejor el funcionamiento de los seres vivos y modificarlos por métodos más potentes. Los primeros agricultores confiaban en que plantando un grano de cereal, al año siguiente conseguirían una espiga. Intuitivamente sabían que seleccionando a los mejores individuos y usándoles como progenitores podían mejorar el rendimiento de los descendientes. Las mazorcas del maíz cultivado, aplicando esta selección intuitiva en México, medían dos centímetros de largo hace seis mil años, siete al principio de nuestra era, más de diez en el momento del descubrimiento de América; pero usted puede ir hoy al mercado y comprar mazorcas de veinte centímetros o más. Toda esta mejora se hizo hasta principios de este siglo sin conocer siquiera la leyenda de transmisión de caracteres hereditarios. A partir de entonces comenzó la aplicación de criterios científicos para la selección de individuos tanto de animales y plantas como de microorganismos. Por ejemplo la concentración de penicilina que se obtenía en 1951 era de 60 miligramos por litro de cultivo. Por mutación y selección de estirpes de *Penicillium* (el moho producto del antibiótico), y mejoras en las técnicas de fermentación, esa cantidad ya se había multiplicado por cien en 1967.

Incluso la palabra biotecnología ya es antigua. El primero en usarla fue un ingeniero agrónomo húngaro, Karl Ereky, en 1919 en su publicación: “La biotecnología de la producción de carnes, grasa y leche en las grandes empresas agrícolas”. Pero la

biotecnología que ha recibido tantos titulares, ha movido tanto dinero y ha creado tantas esperanzas y tantos miedos ha sido llamada, por contraposición a la biotecnología tradicional, nueva biotecnología. Según la definición de la oficina de Valoración Tecnológica del Congreso de los Estados Unidos la nueva biotecnología consiste en el uso industrial de las técnicas de ADN recombinante, fusión celular y los nuevos métodos de procesamiento biológico.”

Siempre es importante reconocer el impacto positivo que los adelantos científicos han traído para el hombre, basta que nos acordemos de la expectativa de vida 150 años atrás, que era alrededor de los treinta años de edad y la realidad actual que es de más de setenta años en los países desarrollados, o en poblaciones con un buen nivel socioeconómico en países en vías de desarrollo. Sin embargo, no todo parece ser beneficioso. Como hemos visto gracias a las técnicas de manipulación genética, hoy día es posible insertar, modificándolos si es necesario, genes provenientes de una especie en la información genética de especies completamente diferentes: genes de animales en bacterias o plantas, genes humanos en animales, etc., produciendo plantas o animales transgénicos. Estos nuevos organismos, no presentes en la naturaleza, fruto de una acción del hombre sobre su ADN, son denominados **OMG**, sigla que significa **organismos modificados genéticamente**.



## ACTIVIDAD N° 22

En esta actividad le proponemos varias tareas para que pueda elaborar una opinión propia sobre los alcances de la intervención genética en los organismos.

1. Seguramente usted ya posee información sobre los OMG y también tendrá noticias sobre las controversias que genera su producción. Escriba sus ideas actuales sobre este tema. Si le es posible especifique su opinión acerca de cuáles son los problemas éticos y de seguridad derivados de la intervención genética.
2. Lea los dos artículos periodísticos que se hallan a continuación de estas consignas bajo el título “¿A favor o en contra de los OMG?” y también el texto “Un caso muy particular: el genoma humano”. Realice un cuadro sinóptico con las posturas y los argumentos que encuentre en dichos artículos. También puede buscar más información sobre el tema, por ejemplo en Internet.
3. Reelabore o amplíe si fuera necesario la opinión que usted ha vertido en el punto 1. Redáctela argumentando. Realice también por escrito una breve síntesis de su opinión, y consulte la de sus colegas

Los riesgos eventuales de la introducción de genes extraños en determinados organismos se refieren a la posibilidad de que se difundan desde ellos a otros organismos, lo que podría acarrear una consecuencia sanitaria. Por ejemplo, un problema médico preocupante sería la difusión de genes de resistencia a antibióticos lo cual acrecentaría la capacidad de los agentes infecciosos para sobrevivir a ellos. Otros riesgos de la difusión de genes podrían afectar al área ecológica ya que, reforzando la resistencia de los pesticidas, podría favorecerse la expansión de plantas diferentes de las cultivadas, disminuyendo la biodiversidad global y empobreciendo los ecosistemas. Diversas son las organizaciones sociales que reclaman un debate público sobre los OMG. Encontramos así argumentos a favor y en contra de los mismos.

#### **A favor o en contra de los OMG**

1) Artículo del grupo español “*Los Verdes – Grupo Verde*”.

Tomado de <http://www.ctv.es/USERS/ecabal/home.html>

... “El deseo de algunas empresas de producir plantas y animales transgénicos o clónicos y de patentarlos como si fueran meros inventos, ha provocado una gran preocupación social, hasta el punto de generar alarma en la opinión pública por las posibles consecuencias medioambientales y sanitarias de la difusión incontrolada de OMG, así como por los interrogantes de carácter ético o moral que suscitan tales manipulaciones. Aunque puede resultar claro el motivo económico que empuja a las multinacionales a invertir en este sector con la esperanza de obtener grandes beneficios, no tan claro resulta el balance costo-beneficio para la colectividad. La experiencia ha demostrado que, en el caso de la industria química y la nuclear, la aplicación de las nuevas tecnologías ha tenido consecuencias a menudo lamentables para el equilibrio ecológico y para la salud. Esto debería hacernos sospechar sobre el empleo de la ingeniería genética y sus posibles consecuencias. De hecho, las técnicas de manipulación genética son por el momento muy imprecisas y no permiten evaluar las consecuencias y los riesgos en el tiempo y en el espacio (difusión en el medio natural de un OMG que se reproduce durante varias generaciones).

Las objeciones realizadas por numerosos científicos, filósofos y estudiosos de la bioética durante los últimos años respecto de la proliferación de OMG pueden ser resumidas del siguiente modo:

Por mucho que esté avanzada, la ingeniería genética no está en condiciones de operar con precisión, el ADN inyectado se integra en el genoma del nuevo organismo en posiciones casuales, sin posibilidad de prever las interacciones con otros genes y con la fisiología del organismo.

1. Por consiguiente, algunas plantas producidas con fines alimentarios pueden resultar tóxicas o producir alergias, incluso tras un cierto tiempo de su difusión (es el caso de la soja, en la cual ha sido introducido un gen proveniente de Brasil).
2. Los animales transgénicos a menudo son individuos débiles, enfermos o estériles y también sus productos podrían tener efectos no deseados sobre la salud.
3. Los nuevos organismos manipulados no tienen de manera instantánea la criba de la selección natural y contienen combinaciones genéticas que nunca hubieran podido verificarse de modo natural. Las consecuencias de su difusión en la naturaleza no son valoradas y podrían determinar perturbaciones en los actuales equilibrios naturales, formándose lentamente, generación tras generación, durante millones de años.
4. La introducción de especies animales y vegetales transgénicas para usos zootécnicos y agrícolas reducirá ulteriormente la diversidad genética.
5. Además, cabe preguntarse si éticamente es lícito intervenir en el genoma de plantas y animales. En el caso de estos últimos, cabe preguntarse además a qué tipo de vida serán destinados, teniendo en cuenta que no puede ignorarse el problema de su bienestar o sufrimiento.

Hemos hablado hasta ahora de manipulaciones sobre microorganismos, plantas o animales, pero todo lo que se puede hacer sobre un animal es técnicamente posible hacerlo también sobre el hombre y esto es válido tanto para la introducción, ya practicada, de nuevos caracteres en las células somáticas (para curar de forma localizada enfermedades genéticas sin posibilidad de transmitir el carácter a los hijos), como para una eventual manipulación de la línea germinal, los gametos, con efectos permanentes sobre la descendencia. Esta última hipótesis es considerada inaceptable tanto por los expertos en bioética como por los científicos, pero es técnicamente posible.

Un discurso análogo se puede hacer sobre la clonación. Si es practicable en otros mamíferos, también puede hacerse en el hombre. De hecho, un científico norteamericano ha anunciado (enero de 1998) su intención de clonar seres humanos aprovechándose del vacío legal existente.

No todo lo que la ciencia indica como posible debe ser llevado a cabo. Por el contrario, es necesario que las aplicaciones tecnológicas de los descubrimientos científicos no vayan en detrimento del bien común. Esto comporta la verificación de los efectos indeseados con la obligación moral de no permitir aquellas técnicas cuyas consecuencias reales no se puedan prever tanto a corto plazo como para las generaciones futuras.

Para garantizar una correcta dialéctica entre el mundo científico, el poder legislativo y la opinión pública, es fundamental sobre una materia tan delicada, recalcar el derecho a la información para todos los ciudadanos a fin de que las elecciones presentes y futuras involucren al conjunto de la colectividad. Esto significa transparencia en quien opera a nivel científico, pero también y sobre todo en quien opera a nivel productivo, evitando el secreto industrial y garantizando la máxima información sobre los productos de consumo,

mediante un etiquetado claro y comprensible que indique si los componentes y los procedimientos empleados han sido sometidos a manipulaciones de la información genética.

En conclusión, creemos que:

1. Ningún organismo genéticamente manipulado debería introducirse deliberadamente en el ambiente, sobre todo si éste puede reproducirse espontáneamente.
2. Los productos que contengan tales organismos o parte de ellos no deberían comercializarse.
3. No deberían producirse animales transgénicos con deformaciones o enfermedades provocadas voluntariamente por injerto de genes extraños.
4. Debería quedar taxativamente prohibida la intervención genética sobre células de la línea germinal.
5. Ninguna nueva forma de vida (microorganismo, planta o animal) obtenida mediante manipulación genética debería ser patentada. Análogamente, no deberían patentarse sus partes, sus células o sus genes.
6. Los productos comerciales que contengan organismos modificados genéticamente, o sus partes, aunque carezcan de genes introducidos en el organismo, deben llevar en la etiqueta, de forma clara y precisa, el origen transgénico del organismo.
7. Especial atención debería prestarse a las autorizaciones para el injerto de genes humanos en animales, con el fin de evitar futuras generaciones de híbridos animal-hombre. En todo caso la autorización debe prever que se trate de animales estériles y que sus órganos no puedan ser utilizados para trasplantes en el hombre, vista la dificultad de prever el riesgo de difusión de virus y genes animales en la especie humana.
8. Debería prohibirse la clonación y la reproducción partenogénica de individuos de la especie humana, así como cualquier investigación en esa dirección. En las especies animales, cuya reproducción asexual y la partenogénesis natural no se verifica ni siquiera accidentalmente, la clonación y la reproducción partenogénica también debería prohibirse...”

2) Artículo aparecido el 29 de Enero de 2001 en el diario CLARIN

**Sólo la biotecnología salvará al mundo**

<http://www.clarin.com.ar/diario/img/comun/1x1.gif>

“El mayor desafío que enfrenta la humanidad es producir y distribuir con equidad los alimentos. Extrañamente, el problema del abastecimiento no es la falta de tecnología agrícola. Es la oposición del extremismo ambientalista que provoca terror y demora la aplicación de los avances científicos”.

**NORMAN BORLAUG. Microbiólogo y agrónomo. Premio Nobel de la Paz. Texas A&M University.**

“Hace casi 30 años, en mi discurso de aceptación del Premio Nobel de la Paz, dije que la Revolución Verde era una victoria provisoria en la lucha del hombre contra el hambre que, si se implementaba plenamente, podía proveer suficiente alimento para toda la humanidad hasta fines del siglo XX.

Pero advertí que, si no se le ponía freno al aterrador poder de la reproducción humana, el éxito de la Revolución Verde sólo sería efímero.

La ciencia de la agricultura hasta ahora ha sido capaz de satisfacer las demandas de producción de alimento en la medida de lo proyectado. Pero el monstruo de la población sigue haciendo estragos. Sólo durante la década del 90, la población mundial creció 1.000 millones de habitantes y volverá a crecer otros mil millones durante la primera década del siglo XXI. Se prevé que alcanzará los 8.300 millones en 2025 antes de estabilizarse (es de esperar) en alrededor de 10.000 millones hacia fines del próximo siglo.

Evidentemente, el desafío más importante que nos espera es producir y distribuir equitativamente una provisión de alimentos adecuada a este exigido planeta. Pienso que tenemos la tecnología agrícola —ya disponible o muy avanzada en la línea de largada de la investigación— para alimentar a esos 8.300 millones de personas previstos para el próximo cuarto de siglo. La pregunta más pertinente hoy es si a los agricultores y los ganaderos se les permitirá usar esa tecnología”.

### **Pocos pero ruidosos**

“Los extremistas del movimiento ambientalista de las naciones ricas parecen estar haciendo todo lo posible para detener el progreso científico. Luddistas pequeños pero ruidosos, sumamente eficaces y bien financiados, anuncian un cataclismo y provocan terror, demorando la aplicación de la nueva tecnología, ya se trate de la transgénica, la biotecnología o métodos más convencionales de la ciencia agrícola. Testimonio de ello es la campaña lanzada contra los cultivos modificados genéticamente que llaman “comida Frankenstein” los activistas de Gran Bretaña y otros países de Europa.

Me alarman particularmente aquellos elitistas que intentan negarles a los agricultores de pequeña escala del Tercer Mundo, en especial del Africa sub- sahariana, el acceso a las semillas mejoradas por métodos convencionales, los fertilizantes y los agroquímicos que han permitido a las naciones ricas gozar de productos alimenticios abundantes y baratos que, a su vez, han acelerado su desarrollo económico.

Es obvio que debemos ser responsables en lo que hace al medio ambiente. Siempre fui partidario de lo que en los viejos tiempos llamábamos “administración integrada de los cultivos” y que hoy se denomina “sustentabilidad” —utilizar la tierra para el mayor beneficio del mayor número de personas durante el mayor tiempo posible—. Pero el pensamiento extremista de hoy comete un peligroso error. Lo que es más preocupante, saca partido de la “brecha de conocimiento” sobre las complejidades de la biología que existe en el público en general en las sociedades ricas —ahora netamente urbanas y

alejadas de toda relación con la tierra— y que crece con los veloces avances de la genética y la biotecnología vegetal.

Sin duda, uno de los grandes desafíos del próximo siglo es la renovación y difusión de una educación científica que esté a tono con la época. En ningún otro lugar es más importante que el conocimiento enfrente el miedo nacido de la ignorancia que en esta actividad básica de la humanidad —la producción de alimentos—. El innecesario enfrentamiento de los consumidores con el uso de tecnología de cultivos transgénicos, ahora tan difundido en Europa y en aumento en los Estados Unidos y Asia, podría haberse evitado con una sólida formación sobre la diversidad y la variación genéticas.

La realidad es que no podemos atrasar el reloj de la agricultura y utilizar sólo métodos que fueron desarrollados para alimentar a un número mucho menor de personas. Llevó 10.000 años aumentar la producción de alimentos al nivel actual de alrededor de 5.000 millones de toneladas anuales. Para 2025, tendremos que casi duplicar esa cifra, y ello no podrá lograrse si los agricultores de todo el mundo no tienen acceso a los métodos actuales de producción de alto rendimiento y a los permanentes avances de la biotecnología.

“Organismo genéticamente modificado” (OGM) y “alimento genéticamente modificado” (AGM) son términos ambiguos e imprecisos que han contribuido enormemente al alboroto que suscita la utilización de cultivos transgénicos —cultivos nacidos de semillas que contienen genes de diferentes especies—.

Pero mucho antes de que la humanidad comenzara a cultivar plantas, la Madre Naturaleza ya lo había hecho. Las variedades de trigo que actualmente componen gran parte de nuestra provisión de alimentos son resultado de cruza naturales entre diferentes especies de pastos.

El pan que comemos hoy está hecho de tres genomas vegetales diferentes, cada uno de los cuales contiene una serie de siete cromosomas. Las variedades más primitivas de trigo se llaman “diploides” y todavía crecen en forma silvestre en su zona de origen en Cercano Oriente.

Antes del nacimiento de la agricultura, el trigo diploide se cruzó con otra gramínea silvestre y se convirtió en el primer cultivo comercial de trigo importante, que ahora conocemos como “tetraploide” o trigo duro. Este trigo se remonta a los sumerios del 3500 a.C. y siguió siendo el trigo comercial más importante hasta bien entrado el período romano. Entonces, en algún lugar —nadie sabe dónde—, los tetraploides se cruzaron con otras especies de gramíneas salvajes para producir los trigos con que hoy hacemos el pan leudado.

Lo que probablemente ocurrió fue que una ligera helada mató el polen de los estambres masculinos a una temperatura justo por debajo del punto de congelación, pero dejó receptivos los femeninos. El estigma femenino resistió en el exterior de la planta, sobre el

extremo plumoso del pecíolo, donde se unió al polen llegado de otra planta. Así nació una nueva especie cruzada. Un “alimento GM” de la propia naturaleza.

### **Copia de la naturaleza**

Gracias al desarrollo de la ciencia en los últimos dos siglos, ahora tenemos un conocimiento de la genética y el cultivo de las plantas que nos permite hacer deliberadamente lo que la Madre Naturaleza hizo por sí sola en el pasado, por azar o designio. La modificación genética de las plantas no es brujería; al igual que el cultivo, domina las fuerzas de la naturaleza para beneficio de la raza humana.

A lo largo de las últimas siete décadas, el cultivo tradicional de plantas ha producido gran cantidad de variedades mejoradas e híbridos que contribuyen enormemente a lograr un mayor rinde de los granos y la estabilidad de las cosechas y de los ingresos agrícolas. Pero no hay un aumento importante en el potencial de rendimiento genético máximo del trigo y el arroz desde la aparición de las variedades enanas que dieron origen a la Revolución Verde de los 60 y 70.

Para satisfacer las necesidades alimentarias rápidamente crecientes de la población, debemos hallar tecnologías nuevas y apropiadas que permitan elevar el rendimiento de los cultivos de cereales. Recientes avances en biotecnología animal produjeron la Somatotropina bovina (STB), que ahora se utiliza ampliamente para aumentar la producción de leche.

En la actualidad, vastas zonas comerciales están sembradas con variedades transgénicas e híbridos de algodón, maíz y papa que contienen genes del “*Bacillus thuringiensis*”, que controla eficazmente una serie de destructivas plagas de insectos. La utilización de tales variedades protege las cosechas al tiempo que reduce enormemente la necesidad de emplear rocíos o polvos insecticidas.

También se han hecho importantes progresos en el desarrollo de plantas transgénicas de algodón, maíz, colza, soja, remolacha azucarera y trigo con tolerancia a una serie de herbicidas. Esto puede llevar a reducir el uso de herbicidas a dosis mucho más acotadas y a espaciar las aplicaciones.

También se han logrado desarrollos prometedores de plantas transgénicas para control de enfermedades virales y fúngicas, especialmente a través del empleo de genes específicos en variedades transgénicas de papa y arroz. Obviamente, reducir el daño que causan a los cultivos las plagas y las enfermedades eleva el rendimiento.

Por último, experimentos preliminares han demostrado que la inserción de genes provenientes de determinadas especies puede ayudar a los cultivos a resistir inclusive la sequía.



### ***Un dato***

En la revista Mundo Científico de marzo de 2000 hay un dossier de artículos sobre OGM que puede consultar para la actividad anterior.

### **Cómo alimentar tantas bocas**

La producción mundial de alimentos en este momento se ubica en unos 5.000 millones de toneladas anuales. (Si la producción mundial de alimentos se hubiera distribuido en forma pareja en 1994, habría provisto una dieta adecuada de 2.350 calorías diarias durante un año a 6.400 millones de personas, aproximadamente 800 millones más que la población actual).

Para satisfacer la demanda de alimentos prevista, sin embargo, el rendimiento promedio de todos los cereales debe elevarse un 80% entre este momento y 2025. Con el empleo de las tecnologías de que se dispone hoy, el rendimiento podría duplicarse en gran parte del subcontinente indio, América latina, la ex URSS y Europa oriental e incrementarse 100-200% en el África subsahariana —siempre que se mantenga la estabilidad política, se libere la iniciativa empresarial y se pongan los insumos de producción al alcance de los campesinos—.

El aumento del rendimiento en la América del Norte industrializada y Europa occidental será más difícil de lograr porque estas regiones ya han alcanzado estos altos niveles. Sin embargo, con los avances de la ingeniería genética, los rindes de estas zonas podrían elevarse hasta un 20% en los próximos 35 años.

La perspectiva más inquietante de inseguridad alimentaria se da en el África subsahariana, donde el número de personas con malnutrición crónica podría llegar a varios cientos de millones de seres humanos, si no se revierten las actuales tendencias decrecientes de producción *per capita*. Las crecientes presiones demográficas, la pobreza extrema, la enfermedad y la falta de atención médica, la deficiente educación, los suelos pobres, las precipitaciones inciertas, los patrones cambiantes de propiedad de la tierra y el ganado y una infraestructura poco desarrollada, se combinan para hacer muy difícil el desarrollo agrícola.

A pesar de estos obstáculos, muchos de los elementos que dieron buenos resultados en Asia y América latina durante los 60 y 70 también podrían servir para llevar la Revolución Verde al África subsahariana. Debe crearse un sistema eficaz de entrega de insumos modernos —semillas, fertilizantes, agroquímicos— y de comercialización de la producción. Si se logra esto, los agricultores que se hallan en el nivel de subsistencia y constituyen más del 70% de la población en la mayoría de los países de esa región podrán tener la oportunidad de alimentar a su pueblo.

Al finalizar la Cumbre de la Tierra de 1992 en Río de Janeiro, más de 400 científicos hicieron un llamamiento a los jefes de Estado y gobierno. Ese reclamo ya lleva la firma de miles de científicos, entre los que me encuentro. Permítanme citar el último párrafo:

“Los mayores males que aquejan a nuestra Tierra son la ignorancia y la opresión y no la ciencia, la tecnología y la industria, cuyos instrumentos, debidamente administrados, son

herramientas indispensables para vencer la superpoblación, el hambre y las enfermedades de alcance mundial.”

Los científicos y funcionarios agrícolas tienen la obligación moral de advertir a los líderes políticos, docentes y religiosos sobre la magnitud y la gravedad de los problemas que afectan a las tierras cultivables, los alimentos y la población. También deben reconocer el efecto indirecto que ejercen las grandes presiones demográficas en el hábitat de muchas especies salvajes de la flora y la fauna, empujándolas a la extinción.

Si no lo hacemos de manera decidida, estaremos contribuyendo al caos inminente de incalculables millones de muertes por inanición. El problema no se resolverá solo; seguir ignorándolo dificultará aún más hallar una solución futura.

### *Un caso aparte: el genoma humano*

Dado el impacto y las posibles consecuencias que el desciframiento del genoma humano puede acarrear (y de hecho ya lo está acarreando), el Comité Internacional de Bioética de la UNESCO adoptó en noviembre de 1997 una Declaración Universal sobre el Genoma Humano y los Derechos del Hombre. En esta Declaración reconoce que las investigaciones sobre el genoma humano y sus aplicaciones abren inmensas perspectivas de mejoramiento de la salud de los individuos y de toda la humanidad, pero se destaca que deben, al mismo tiempo, respetar plenamente la dignidad humana, la libertad y los derechos de la persona humana, así como la prohibición de toda forma de discriminación fundada en las características genéticas. Esta Declaración fija los límites de la intervención sobre el patrimonio genético de la persona humana, límites que la comunidad internacional se compromete moralmente a no transgredir. Su base se expresa en los siguientes tres principios:

1. La noción del genoma humano como “patrimonio de la humanidad”.
2. La dignidad del individuo, cualesquiera sean sus características genéticas.
3. El rechazo del determinismo genético.

Esta Declaración que consta de 25 artículos puede consultarse en la página web de la UNESCO <http://www.unesco.org> y es un material de insumo interesante para trabajar con los alumnos, tanto para que tomen conciencia como para que la difundan, ya que constituye el primer instrumento universal en el campo de la biología referida a aspectos relacionados con la manipulación genética.



## ACTIVIDAD N° 23

A partir de las lecturas que realizó para resolver la actividad 22 y la consulta con otros colegas que le propusimos se habrá dado cuenta de que son diversos los aspectos tratados que admiten más de una postura, por ejemplo la producción y el uso de OGM y AGM, la ética de los científicos, la necesidad de informar a los ciudadanos, los problemas legales y los problemas de poder entre países. Por eso la actividad que le proponemos aquí está relacionada con la posible inclusión de dichas cuestiones en sus propuestas para la clase.

1. Suponga que usted propone un debate entre grupos de alumnos. Por ejemplo, puede dividir el curso en dos grupos de tal forma que cada uno tenga una postura enfrentada con la del otro.

- a) Seleccione el tema a debatir y los elementos de apoyo bibliográfico que usted entregaría como material de base. Puede utilizar las diferentes opiniones de sus colegas, del cual seguramente usted participó en la Actividad N° 22.
- b) Haga un listado de los lugares, materiales o personas que sus alumnos podrían investigar buscando información por ellos mismos (visitas, entrevistas, lecturas).
- c) Redacte una consigna en la que les solicite identificar los argumentos que presenta la información obtenida.
- d) Redacte otra consigna en la que les solicite un modo de organización y síntesis de los argumentos elaborados en el punto c).

2. Ahora que tiene la actividad diseñada, desde su rol docente reflexione y responda:

- a) ¿Qué fundamentos didácticos, de los vistos, retomaría para justificar la actividad anterior?
- b) Si la implementara, ¿qué contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales podría desarrollar con sus alumnos?
- c) ¿Qué condicionantes impedirían una aplicación de la misma en su realidad escolar?
- d) ¿Qué saberes docentes debe retomar a la hora de planificar y llevar al aula una actividad como esta?

3. Indague entre sus compañeros del curso cuáles fueron sus respuestas al punto 2..

Usted ya debe tener una opinión formada sobre cómo incluir en sus prácticas la problemática CTS, lo importante es que esta se incluya coherentemente con el resto de los contenidos de la UD. Si lo desea puede revisar el trabajo que realizó en las Actividades N° 20 y 21 y reenfocar los aspectos que ha delimitado de su UD, tomando como eje la problemática CTS.

No olvide que una de las condicionantes del diseño son las propias concepciones docentes, que seguramente se harán explícitas a la hora de plantearle preguntas a sus alumnos o de darles respuestas a sus interrogantes. Como usted podrá apreciar, la inclusión de estos temas en los nuevos currículos de biología viene acompañada de nuevas responsabilidades para los docentes.

Ahora que hemos terminado con el desarrollo de los contenidos de biología de este capítulo, retomaremos el marco teórico didáctico del comienzo y pensaremos en algunas transferencias con relación a ellos.

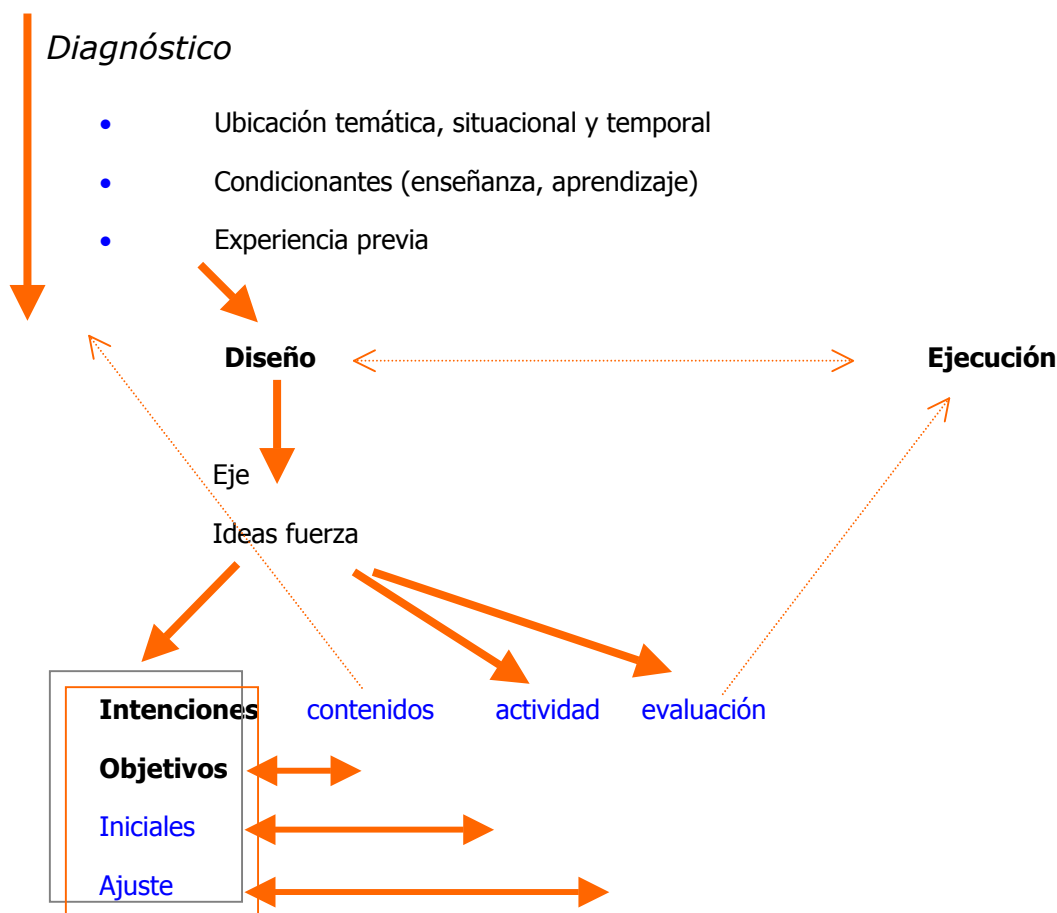
## Otras aproximaciones didácticas

### Elaboración de una UD de genética

#### *Encontrar las "ideas – fuerza" de la UD*

Si bien toda unidad didáctica está guiada por objetivos, no es la primera decisión. Como vimos, debemos comenzar por un diagnóstico, para luego definir la estructura de la UD, que incluye definiciones sobre el autor, el ambiente en el que se implementará, la duración, el grado de especificidad disciplinar, tipo de diseño, si es ciencia pura o aplicada, enfoque y eje organizador.

Saber qué eje vamos a trabajar nos permitirá encontrar las **"ideas - fuerza"** que lo define. ¿A qué nos estamos refiriendo con ideas - fuerza? A explicaciones de las intenciones educativas que tenemos al proponer el desarrollo de cada eje. Para pensar en ello, puede ayudarnos revisar nuevamente las finalidades para la enseñanza de las ciencias que vimos en el capítulo uno. Por ejemplo, una idea fuerza sería: "la comprensión de los mecanismos de la herencia permitirá adquirir conocimientos necesarios para entender las aplicaciones biotecnológicas". Esquemáticamente el proceso es el siguiente:



### *Evaluación y seguimiento*

En el esquema anterior las líneas de punto unen los tres momentos fundamentales de la tarea docente: el diseño, la ejecución y la evaluación. Asimismo, como venimos afirmando desde el comienzo, esta última es un proceso continuo que va desde el diagnóstico hasta el final del proceso. Desde las “ideas – fuerza” surgen flechas que indican la selección y organización de los diferentes elementos del currículo: objetivos, contenidos, actividades y evaluación de aprendizajes. A su vez, desde los objetivos se delimitan aún más los otros elementos.

Prosigamos analizando algo más sobre los objetivos.

### *Elaborar los objetivos*

A partir de las intenciones se comienzan a definir los *objetivos* que luego guiarán la selección de contenidos, actividades y evaluación.

Su definición, posibilita que se pueda identificar lo que se prioriza enseñar y aprender, valorar su coherencia y significatividad en relación con los diferentes componentes de la UD.

Desde las propuestas actuales para enseñar ciencias se recomienda dar a conocer a los estudiantes los objetivos, para que luego ellos puedan, junto al docente, evaluar sus logros, sus nuevos conocimientos y la forma en que cambiaron sus ideas previas. Esto da una perspectiva diferente de lo que habitualmente entendemos por objetivos, ya que en el contexto de la clase van evolucionando dichos objetivos iniciales del profesor, así como las percepciones iniciales de los alumnos sobre lo que deben aprender. Esto quiere decir que se deben compartir con los alumnos y a su vez, pensar que se pueden modificar. En definitiva se van concretando a medida que se define la UD.

Por ello deben ser pocos, básicos y con relación al tiempo. Como todos sabemos, hay objetivos que se explicitan y otros que subyacen a las actividades y la evaluación (coherencia interna).

Se pueden formular de diferente manera, como ser: acorde con la idea previa o concepción alternativa a superar.

| <b>Lo que se espera</b>                                                                     | <b>Dificultades y obstáculos que se pretende ayudar a superar</b>                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ej.</b> desarrollar la capacidad del alumnado para explicar el modelo molecular del ADN. | <b>Ej.</b> pasar de formas macroscópicas de explicación de la herencia a formas microscópicas. |

También lo podemos formular desde el punto de vista del estudiante (que los alumnos sean capaces de...), desde las expectativas de logro (lo que es posible alcanzar desde lo afectivo, social o cognitivo).

En general, los objetivos se refieren al desarrollo de capacidades (comparar, argumentar...), le dan un alcance al contenido (comprender la relación estructura en función de...) y con relación a un contexto (en el marco de una teoría, de un proceso...).

Avancemos ahora sobre los tipos de contenidos y la tarea indispensable de seleccionar los que formarán parte de nuestra UD.

## *Seleccionar los contenidos*

Los contenidos son decisiones didácticas argumentadas sobre las nuevas ideas a construir y corresponden al conocimiento “a enseñar”.

Los criterios para su selección tienen que ver con la **lógica de la disciplina**, los **aspectos psicológicos del alumno** y con el **contexto socio-cultural**.

Como usted sabe, a los fines didácticos, desde la reforma, se diferencian los contenidos en conceptuales, procedimentales y actitudinales.

A continuación caracterizaremos cada tipo de contenido.

## *Los contenidos conceptuales*

Las disciplinas científicas, desde su lógica, presentan dos dimensiones: la semántica y la sintáctica. La primera, referida a los diferentes niveles conceptuales y la segunda, a procedimientos y técnicas.

La dimensión semántica se organiza en hechos, conceptos, principios, leyes y teorías.

Los hechos o datos, son afirmaciones o declaraciones referidos a objetos de un campo determinado. La biología, como las otras ciencias, requiere de estos datos para poder comunicar, ejemplificar o describir un concepto. Por ejemplo, el símbolo ADN, el de determinado compuesto químico  $\text{CO}_2$  o la expresión “la célula es la menor unidad de vida”. Pero no basta con conocer dichos símbolos o una afirmación como la de célula. Ellos deben adquirir sentido por estar asociados a un concepto. Volviendo al ejemplo, cuando se dice que la célula es la menor unidad de vida se está diciendo que la célula es pequeña respecto de un organismo completo y también, al decir que tiene vida, se están identificando los procesos que ella realiza, por ejemplo cómo se reproduce. Así la afirmación “la célula es la menor unidad de vida” tiene un significado más amplio en el contexto del concepto vida.

A los contenidos tomados como hechos o datos se los conoce más que se los comprende, es decir, se los recibe como una información que en lugar de tomarla para interpretarla en función del concepto del que forma parte, generalmente se memoriza.

Por ello los datos y hechos aislados solo tienen un nivel de definición y aparecen en el currículo siempre de la misma forma. Con ese nivel se incorporan a nuestro lenguaje, ya que al aprenderlos no se crean significados particulares, sino que se hace una copia literal del que aparece en la información dada por el texto o por el docente. Los datos y los hechos se fijan en la memoria por repetición y si no se los repasa se olvidan.

En cambio el aprendizaje de un concepto requiere más que una copia literal ya que se construye por el **establecimiento de relaciones** con otros conocimientos

anteriores. Dicho aprendizaje (significativo) se alcanza por **comprensión** más que por repetición. Por ello decimos que los conceptos se ubican en una **red semántica**. Además, tienen niveles de definición y complejidad, por ello se adquieren gradualmente. Lo anterior tiene consecuencias favorables en la selección y organización de contenidos, ya que nos permite pensar en un **currículo en espiral** donde los conceptos se van retomando con diferentes niveles de complejidad.

Si un alumno comprende un concepto no solo podrá expresar una definición (de memoria y de una sola forma) sino que podrá dar una explicación con sus propias palabras y hasta transferir el significado a la interpretación de otros fenómenos.

Nos podemos preguntar, asimismo, cómo estudian nuestros alumnos la estructura celular (sus membranas, organelas, etc.) o el proceso de síntesis de proteínas, ¿van más allá de la numeración o secuencia de nombres?, ¿pueden explicar las funciones de las organelas celulares y compararlas? o ¿explican la secuencia del proceso de síntesis viendo cómo se complementan las acciones del ADN, ARNm, ARNr, ARNt?. A partir de la respuesta dada a los interrogantes anteriores podremos analizar si estamos provocando un aprendizaje de conceptos o de “conceptos transformados o vistos como datos”. Si de los conceptos sólo se memoriza una definición, se conforman en la categoría de dato y su estudio solo implicará repetición.

Un concepto implica **construir una generalización** de un conjunto de características que se cumplen para una variedad de objetos. Por ejemplo, si un alumno sabe, en el marco de la teoría celular, el concepto de célula, verá que las características de esta no se pueden transferir a la descripción de un virus. Entonces, al escuchar por los medios de comunicación que unos dicen que determinados alimentos de una empresa poseen una bacteria y que por ello fueron sacados del mercado y, otros dicen que lo que tienen dichos alimentos es un virus, sabrá cuál está dando una información correcta.

Los conceptos científicos forman parte de un sistema conceptual organizado, es decir que conforman una **jerarquía**. Cuando dos o más conceptos se relacionan lógicamente dando sentido a una generalización más amplia, que se halla en la parte superior de la jerarquía, hablamos de **principios y leyes**. En nuestro caso, un principio que puede dar lugar a la organización de una o más unidades didácticas es el dogma central de la biología molecular que mencionamos en el capítulo 1. A su vez, esto forma parte de estructuras más amplias llamadas **teorías**, cuyas características ya analizamos también en el capítulo 1. Por ejemplo, la teoría celular y de teoría de la evolución.

Como decíamos, para salir del inductivismo en ciencias debemos tener en cuenta que una observación siempre se interpreta a la luz de una teoría, ahora podemos decir que para salir de la memorización debemos tener en cuenta que un dato o hecho tiene sentido cuando se analiza desde una conceptualización.

Por todo lo anterior sería inadecuado planificar la enseñanza dirigida al aprendizaje de un conjunto de datos. No queremos decir que no se deban aprender datos sino que estos conforman la parte “inferior” de la jerarquía conceptual o son aprendizajes complementarios de los conceptuales. De hecho, debemos construir un vocabulario específico y conocer determinados símbolos.

Cuando en el módulo II, capítulo 5, hablemos de mapas conceptuales, veremos que los principios suelen ser **ideas inclusoras** de un conjunto de conceptos y que estos son generalizaciones de un conjunto de datos.

### *Los contenidos procedimentales*

Si bien en los currículos actuales los contenidos conceptuales tienen una presencia mayor, debemos planificar otros tipos de contenidos. Nos estamos refiriendo en este caso a la **dimensión sintáctica** de una disciplina, es decir, a los **procedimientos y técnicas**. Ellos se refieren al **conjunto de acciones ordenadas, con un fin específico u orientadas a conseguir una meta**. Tienen que ver con poseer formas de hacer, actuar, usar y aplicar determinados conocimientos. Se refieren a estrategias de aprendizaje y razonamiento e incluyen **habilidades generales** (incluyen varias acciones subordinadas) y **específicas**. Entre las primeras encontramos: analizar información, comparar, resolver problemas y entre las segundas, formular una hipótesis, distinguir entre dos estructuras diferentes, reconocer la idea fundamental de un párrafo.

No solo se debe incluir entre los contenidos procedimentales **habilidades cognitivas** (como búsqueda de información, organización, análisis, comunicación, etc.) sino también **lingüísticas** (como explicar, argumentar, describir, sintetizar, narrar, etcétera).

El hecho de que los procedimientos se hayan convertido en contenidos del currículo ha traído confusiones en el sentido de enseñarlos como si fuesen conocimientos declarativos, exponiéndolos como una secuencia narrada sin permitir que los alumnos lo construyan desde su práctica. Lamentablemente es común encontrar clases donde el método científico se aprende verbalmente como una secuencia de pasos, lejos de plantear un conjunto de actividades en las que el alumno trabaje con sus procesos subordinados en función de una indagación sobre un tema o hecho particular. A su vez dentro de esta metodología general para las ciencias hay procesos básicos como observar, clasificar, medir, y procesos integrados como experimentar, formular hipótesis, controlar variables.

Algunos procedimientos en ciencias se pueden aprender como **técnicas** o como **estrategias**. Ellos se diferencian porque las primeras son rutinas que se aprenden por repetición -pipeteo, hacer preparados, etc.-, la segunda, requiere de un proceso

cognitivo, ya que tiene una intención para alcanzar determinado fin, un grado de reflexión consciente (metaconocimiento) e incluye un conjunto de procedimientos.

Una estrategia que debieran aprender los alumnos del polimodal, sería la que lleva a realizar el diseño de un experimento sencillo en una clase de laboratorio de biología. Hacerlo implicaría seleccionar, planificar los procedimientos que involucra (determinar las variables, ver cuál es la relación que se establece entre ellas, analizar cómo se las mide, etc.), controlar su ejecución o puesta en marcha, (si el dispositivo utilizado mide adecuadamente, si hay variables que interfieren, etc.), y evaluar el éxito tras su aplicación (si el diseño permitió recabar datos para las hipótesis planteadas, etcétera).

Las estrategias también se diferencian de las técnicas porque el control de la secuencia a seguir lo tiene el alumno. Lo que sí es necesario, es que ellos posean los conocimientos conceptuales específicos. Por ejemplo, si le damos problemas de genética siempre iguales (de los que se suelen llamar ejercitación), en las que solo cambiamos datos, los alumnos aprenderán a resolverlos como rutinas. En cambio, si los enfrentamos a la resolución de problemas (tal como lo desarrollaremos en este módulo), ellos deberán afrontar las tareas con una estrategia, planificando un proceder, controlándolo y evaluándolo.

Los contenidos procedimentales como los conceptuales pueden tener niveles de complejidad diferentes y establecer entre ellos una gradualidad. En general lo que le da identidad a una asignatura es su entramado conceptual, ya que muchos procedimientos se comparten. Por ello muchos procedimientos pueden ser **transversales** al currículo.

En ciencias uno de los procedimientos fundamentales es la resolución de problemas. En este caso, es necesario remarcar las características que diferencian los problemas de los ejercicios. Al plantear problemas en la clase debemos tener en cuenta que admiten varias vías de solución y requieren una formulación como situación abierta. Es conveniente también, diversificar los contextos de referencia y el formato que le damos en las diferentes ocasiones en que los usaremos. Incluirlos como estrategia en diferentes momentos del desarrollo de un tema y no solamente al final en la aplicación de un concepto. Durante la resolución de los problemas, es conveniente habituar a los alumnos a que tomen decisiones sobre el proceso de resolución, que reflexionen sobre él y que admitan visiones diferentes. Lo anterior requiere del docente un apoyo permanente dirigido a fomentar en los alumnos el hábito de cuestionarse, plantear preguntas, reflexionar sobre diferentes alternativas y dudar. Por último, al evaluar este procedimiento es importante valorar el proceso seguido más que el resultado obtenido.

## *Los contenidos actitudinales*

La expresión contenidos **actitudinales** se refiere a las reglas o patrones de conducta, de las cuales se tiene conciencia y que se seleccionan para ser motivo de la enseñanza. Por ejemplo, la actitud hacia la información biológica que viene de los medios de comunicación. También se incluyen aquí los **valores** que se refieren al grado con que se han internalizado determinadas normas (por ejemplo, valoración que hacemos de la salud con relación al hábito de fumar). Como consecuencia de dichas valoraciones generalizadas surgen las **normas** (por ej., no hablar cuando mi compañero explica algo o no fumar en una institución educativa).

Es difícil pensar en los contenidos actitudinales espontáneamente, ya que generalmente no se verbalizan y su modificación o construcción solo se da en una **actuación sistemática y coherente** producida por largo tiempo.

Las actitudes subyacen a todo lo que se hace y muchas veces no somos conscientes de ello.

Curricularmente son transversales y se planifican en común con otras disciplinas. Lo cual requiere un consenso entre los profesores a la hora de planificarlas. Se incluye entre las actitudes las **intenciones de conducta**: ser sistemático, riguroso, crítico, etcétera.

La génesis de los contenidos actitudinales en general es social, dependen de valoraciones personales e involucran el afecto. En la clase se manifiestan en opiniones, se desencadenan por motivación e implican juicios valorativos. Sus funciones pueden ser: defender una postura, adaptarse a una situación, expresar valores o un convencimiento.

En el currículo de ciencias se incluyen:

- **Actitudes hacia la ciencia:** interés por aprenderla, gusto por el tipo de trabajo, actitud crítica, etcétera.
- **Actitudes hacia el aprender ciencias:** desde una perspectiva memorística o comprensiva, desde una postura cooperativa o individualista, etcétera.
- **Actitudes hacia las implicaciones sociales de la ciencia:** valoraciones sobre los usos de los avances científicos, de su incidencia en el cambio social, etc.

Seguramente usted dispone de bibliografía para ampliar las características de los tres tipos de contenidos. *Solo queremos enfatizar que son “contenidos”, en la medida que se constituyen en motivo de enseñanza.* Si tomamos, por ejemplo, la argumentación como contenido procedimental, este será válido como tal si dedica una explicación o actividad para trabajar sobre su significado y aplicación.

Hay posturas didácticas que no admiten esta división (conceptual, procedimental y actitudinal). Sostienen que se trata de una clasificación y que, cuando se trabaja desde la evolución de los modelos mentales del alumno, en ellos están incluidos conceptos, procedimientos y actitudes. No obstante su diferenciación ayuda a que recordemos las distintas dimensiones del conocimiento científico y, en cierta forma, retomemos su epistemología particular, es decir sus conocimientos y la forma en que se construyen. Hecho que estamos remarcando como positivo desde el comienzo de este módulo.

Desde los **criterios psicológicos**, al seleccionar contenidos y darles una gradualidad debemos pensar en el desarrollo evolutivo de los alumnos y sus potenciales aprendizajes. Sus capacidades cognitivas (qué es capaz de hacer y aprender), sus conocimientos previos, sus intereses y motivaciones. Qué es capaz de aprender solo o para qué necesita ayuda de otro. (En este último caso nos estamos refiriendo a los aportes de Vygotsky quien señala que hay una zona de desarrollo próximo donde es posible realizar aprendizajes potenciales si contamos con la ayuda de otro).

Tener en cuenta los aspectos psicológicos de los estudiantes nos permitirá tomar decisiones con relación al tipo de actividad y a la secuenciación de contenidos. Desde lo concreto a lo abstracto, de lo simple a lo complejo, de lo general a lo particular, de lo próximo a lo lejano (o a la inversa en cada caso).

El contexto socio cultural también es una dimensión que influye sobre la selección de contenidos. Incluimos en él el contexto situacional: (lugar y condicionantes curriculares), el lingüístico (códigos, lenguaje de las ciencias) y el mental (referentes), como ya lo hemos tratado con el tema de las ideas previas y lo retomaremos al hablar de la comunicación en el módulo siguiente.

### *Los contenidos procedimentales en el contexto de la resolución de problemas*

La resolución de problemas es una de las estrategias más usadas en los modelos constructivista y de indagación guiada, ya explicados en el capítulo anterior.

La retomamos en este caso, ya que los temas de este capítulo suelen ser el contenido de los problemas más comunes que se resuelven en biología y de donde se derivan un conjunto de errores que es necesario revisar. La resolución de problemas es un contenido procedimental que requiere un tratamiento especial ¿Por qué? Según Perales Palacios y Cañal de León (2000), esta estrategia facilita la consecución de al menos tres objetivos, relacionados con la comprensión:

- la estructura conceptual de la disciplina y con ello lograr una nueva forma de pensar sobre el mundo;

- lo heurístico para la toma de decisiones;
- la naturaleza de las ciencias como actividad humana que resuelve problemas a partir de los conocimientos previos, pero también basada en la creatividad y la discusión.

Las publicaciones en investigaciones didácticas nos muestran la necesidad de incluir en la formación docente aclaraciones respecto de los tipos de problemas que podemos dar a nuestros alumnos, y sus formas más convenientes para desarrollar un pensamiento hipotético deductivo que nos aleje de la ejercitación y memorización.

Según los mismos autores, los tipos de problemas más comunes son los que derivan del conocimiento de las leyes de Mendel y de la teoría cromosómica de la herencia. Estos problemas de lápiz y papel son generalmente de tipo cerrado, con una única solución. Sin embargo, los problemas de genética pueden clasificarse de formas diversas:

1. desde la lógica de la disciplina, por el tipo de herencia implicada; de genética humana o no, árboles genealógicos, etcétera;
2. desde la lógica de los objetivos de aprendizaje que se pretenden y relacionados con los diferentes tipos de razonamiento que generan. Por ejemplo, causa-efecto o efecto-cause.

Investigadores españoles en Didáctica de la Genética (Ayuso, Banet y Abellán, 1996), han detectado dificultades con la resolución de problemas de genética en estudiantes secundarios, que resumimos como sigue:

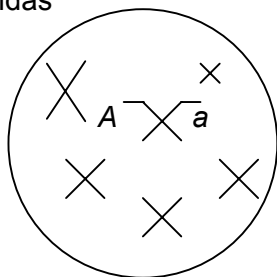
- ✓ **Dificultades de tipo conceptual:** la falta de significado o las interpretaciones inadecuadas de algunos conceptos o procesos impiden encontrar la auténtica dimensión del problema y comprender los conocimientos que se aplican en su resolución.
- ✓ **Dificultades relacionadas con el enfoque de los problemas y las estrategias de resolución:** no todos los problemas son iguales, ni presentan el mismo nivel de dificultad para los estudiantes, el tipo de enfoque es básico para definir un modo de razonamiento que contribuya a aplicar mejor el conocimiento conceptual.
- ✓ **Dificultades relacionadas con el nivel de desarrollo cognitivo:** si los estudiantes no pueden utilizar los elementos de un razonamiento hipotético deductivo tendrán dificultades para comprenderlos y resolverlos.

- ✓ **Dificultades de tipo matemático:** por ejemplo, una errónea comprensión de la probabilidad.

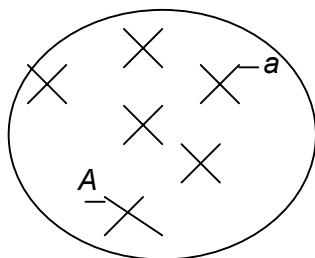
Analicemos con un poco de detalle los dos primeros casos. Para ello le sugerimos que, si es posible, recuerde las dificultades que tienen o han tenido sus alumnos en este tema y las anote con el fin de poder reflexionar sobre ellas y buscar estrategias adecuadas para resolverlas.

Entre las **dificultades conceptuales** es notoria la forma en que los estudiantes representan los cromosomas, genes y alelos, y su correspondiente conceptualización. Por ejemplo, en distintas ocasiones se ha observado que si se le pide a los estudiantes que dibujen una célula con seis cromosomas homólogos y sitúen en el lugar correspondiente los genes responsables de alguna característica, la mayoría de ellos se sorprende y confiesa no saber hacerlo. Las respuestas que resumen los errores son, en general, las siguientes:

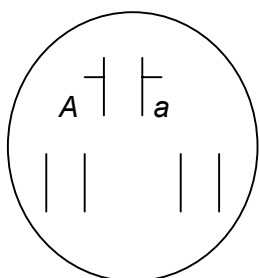
- a) Confusión entre cromosomas homólogos y cromátidas



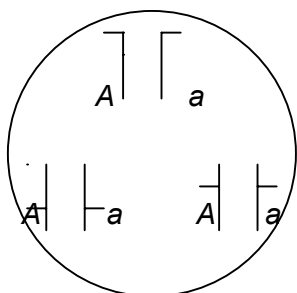
- b) Ausencia de correspondencia de genes en cromátidas del mismo cromosoma.



- c) Respuesta correcta en la que se aprecian los tres pares de cromosomas homólogos y los alelos en cuestión en cada uno de los miembros de un par.



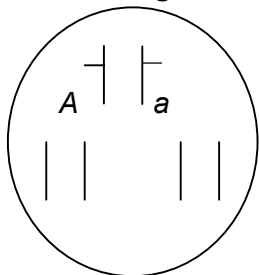
d) Se aparean los cromosomas homólogos, pero se considera que todos los pares son iguales.



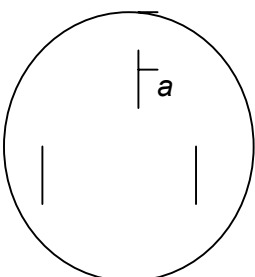
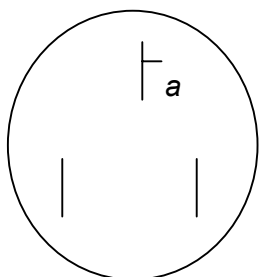
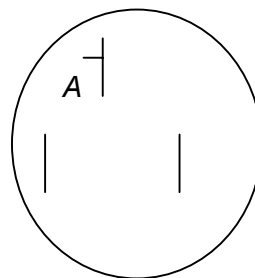
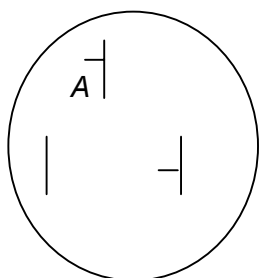
Otro problema que suelen tener los alumnos, es conectar adecuadamente la relación gametas - meiosis. Si se les pide que a partir de la célula dibujada anteriormente, distribuyan los cromosomas homólogos en las gametas resultantes, se podrán apreciar las dificultades. Por ejemplo para obtener las dos gametas, ya que al separar uno a uno los cromosomas no pueden explicar cómo se pueden distribuir los dos alelos.

Normalmente saben que las células sexuales tienen la mitad de los cromosomas, pero no conocen qué pasa con sus genes. En pocos casos no tienen problemas para formular los alelos, contestando que las gametas serían haploides con la mitad de los cromosomas (3) y en cada miembro de un determinado par de cromosomas homólogos presentaría un alelo del carácter en cuestión.

### Célula madre de las gametas



### Células hijas



Si bien ejercicios como los anteriores no provocan, como la resolución de problemas, un razonamiento hipotético-deductivo, nos ayudan a detectar errores conceptuales que se pueden trasladar luego a la interpretación del enunciado de algún problema.

Les sugerimos que retome aquí sus anotaciones sobre los errores conceptuales de sus alumnos y piense ahora cómo los puede revertir.

Veamos ahora las dificultades relacionadas con el **enfoque de los problemas y las estrategias de resolución**.

Si tomamos la clasificación de los problemas de genética desde la lógica de los objetivos y relacionados con los diferentes tipos de razonamiento que generan, tenemos dos clases de problemas:

**Los problemas que implican razonamiento causa-efecto:** para su solución se razona desde las causas (los genotipos o el tipo de herencia implicada son conocidos

o dados en el problema) a los efectos (se pregunta, por ejemplo, la proporción de fenotipos de la descendencia y sus genotipos):

- El pelaje negro de los ratones es dominante y el blanco es recesivo. Individuos heterocigóticos son cruzados entre sí. ¿Qué porcentaje de la camada resultante puede esperarse que sea blanca?
- La presencia de plumas en las patas de las gallinas se debe a un alelo dominante y las patas sin plumas a uno recesivo. La cresta en forma de guisante es producida por otro alelo dominante, y la cresta simple por uno recesivo. Si cruzamos un gallo doble homocigota con esos caracteres, con una gallina de patas sin plumas y cresta simple. ¿Cómo sería la F1?

Esta clase de problemas o ejercicios -que no requieren un análisis detallado de los datos iniciales y en los que tampoco es necesario emitir hipótesis- induce a los estudiantes a la puesta en práctica de mecanismos rápidos de resolución que consisten en aplicar reglas conocidas y utilizadas en situaciones similares. En otras palabras, les resulta más sencillo aprender el algoritmo que razonar sobre las implicancias de la situación que se plantea, haciendo menos probable que el estudiante adquiera una correcta comprensión de los procesos involucrados.

1. **Los problemas que implican razonamiento efecto-causa:** para su solución se requiere razonar desde los efectos (fenotipos dados en los cruces) a las causas (los genotipos) y suponen hallar el tipo de herencia implicado. Por ejemplo:

- En un cruce entre moscas normales se obtuvieron descendientes con los siguientes fenotipos: 180 normales, 60 de alas cortas, 60 de cuerpo marrón y 20 de cuerpo marrón y alas cortas. ¿Cuáles de estos caracteres son dominantes y cuáles son recesivos? ¿Cuál es el genotipo de cada uno de los fenotipos de la descendencia? ¿Cuál es el genotipo de los padres?
- Un agricultor que usualmente produce rábanos dulces y picantes, desea concentrar su producción en los rábanos picantes. ¿Qué pasos debería realizar para conseguirlo?

Este tipo de problemas no se soluciona de forma inmediata. Los problemas son abiertos y los alumnos deben decidir sobre qué hipótesis (modelo de herencia) quieren cuestionar. La situación anterior hará que movilice su trama conceptual y la refuerce. Esta estrategia lo aproxima al verdadero trabajo científico, ya que su resolución implica comprender su naturaleza, analizar los datos y valorar los resultados obtenidos.

Aunque el enfoque causa-efecto puede utilizarse para iniciar a los estudiantes en la resolución de problemas de genética, ya que de esta manera pueden aprender conceptos básicos y el algoritmo correspondiente, es también necesario formular verdaderos problemas del tipo efecto-causa, que obligan a emitir hipótesis

explicativas, planificar el trabajo e interpretar los resultados obtenidos para aceptar o desechar la hipótesis planteada al comienzo.

En la medida de lo posible se recomienda comenzar por situaciones sencillas, procurando que el objetivo del problema tenga interés para los estudiantes (por ejemplo sobre genética humana), que sean los propios alumnos quienes busquen los datos del problema, que se centren en los conceptos más importantes y que este problema se utilice a lo largo de toda la unidad didáctica, no sólo al final, con intención evaluativa. Los problemas de genética humana pueden ser utilizados como motivadores y servir para hacer explícitas las ideas de los alumnos sobre la herencia biológica, o bien si su planteamiento es adecuado, pueden ser actividades excelentes para reestructurar los conocimientos y una manera efectiva de aprender.

Hay que tener en cuenta distintas alternativas para evaluar la resolución de los problemas, de forma que no sólo pongamos atención en la respuesta, sino en el modelo que la explica, poniendo el énfasis en el proceso y sus dificultades más que en el producto. Con lo anterior queremos cuestionar los criterios que consideran que el aprendizaje es exitoso, sólo cuando se logran las soluciones adecuadas para cada problema planteado.

A continuación, le invitamos a resolver la “Actividad de integración” de este capítulo, que también integra los contenidos del módulo, pero antes una reflexión:

*Una cosa es saber y otra,  
saber enseñar.*

**Cicerón**

## Actividad de integración



### ACTIVIDAD N° 24

Esta actividad tiene como objetivo volver a reflexionar sobre las actividades anteriores de este capítulo (4), pero ahora a la luz de las prescripciones didácticas.

Como ya lo hemos desarrollado anteriormente, la enseñanza de la genética, como la de los otros temas, requiere que los docentes planifiquemos los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales. En este marco hemos remarcado la importancia de la resolución de problemas como contenido procedimental fundamental en el diseño de unidades didácticas de genética.

Como vimos, los contenidos conceptuales tienen que ver con los hechos, conceptos, principios y teorías que conforman las jerarquías o redes conceptuales en el ámbito de una ciencia.

Los contenidos procedimentales incluyen las habilidades, destrezas, técnicas y métodos, como formas de pensamiento y actividades que caracterizan los métodos de la ciencia. Por ejemplo el trabajo experimental, la resolución de problemas, la comunicación de resultados.

Los contenidos actitudinales incluyen actitudes, valores y normas que acompañan las explicaciones conceptuales y metodológicas. Por ejemplo, actitudes sobre la ciencia y su imagen pública, sobre los métodos de la ciencia, sobre las implicaciones sociales y ambientales y sobre la enseñanza.

Es el momento de concretar el diseño de una unidad didáctica de genética. Para ello le pedimos que realice las siguientes tareas y las envíe por correo electrónico a su tutor.

1. Revise sus respuestas a las actividades 20, 21 y 23.
2. A la luz de los criterios dados comience a diseñar una UD dándole una estructura acorde a lo explicado. Defina el eje y las ideas - fuerza, determine el enfoque y redáctelos.
3. Formule por escrito los objetivos de esta UD. Puede tomar como contexto los Objetivos Generales para las Ciencias Naturales del Nivel Polimodal y las Finalidades para la Enseñanza de las Ciencias. También puede pensar en los cambios que desea lograr en sus alumnos respecto, por ejemplo, de la forma de resolver los problemas o analizar un enunciado. Otro elemento que ayuda a la hora de redactar los objetivos son las ideas previas que ha detectado en el diagnóstico, quizás en este tema muchas coinciden con las señaladas en las investigaciones sobre genética.

4. Revise la propuesta de Reforma para el Nivel Polimodal e identifique los tres tipos de contenidos en el tema de Genética. Luego seleccione los contenidos y establezca su secuencia en función del eje elegido. Señale en su propuesta si el eje es diferente de la pregunta inicial del capítulo y comente por qué.
5. Esboce posibles actividades que incluiría en la UD. Podrían servirle algunas de las actividades trabajadas a lo largo del capítulo, también puede ayudarse buscando ejemplos de los dos tipos de problemas (causa-efecto, efecto-causa) en las clases que haya dado y en los libros de texto que desarrollan los temas de genética. Además de problemas de genética, puede incluir otro tipo de actividad que le permitan concretar enseñanzas de estos temas.
6. Analice los saberes docentes que aparecen descriptos en el apartado “Las competencias del docente” y diga cuáles puso en juego al querer armar esta UD. Reflexione acerca de, en qué medida, éstos saberes le condicionaron sus decisiones. Si es posible parta de sus propias experiencias al enseñar este tipo de temas. Elabore con su análisis y sus reflexiones un texto escrito.

Con el proceso de diseño de la UD ha comenzado a concretar las intenciones educativas de este curso. Todavía nos quedan por analizar las formas en que podemos presentar los contenidos y diferentes aspectos referidos a las actividades y especialmente a la evaluación. Esto será el motivo del segundo módulo del curso.

## Actividades de autoevaluación



### ACTIVIDAD N° 1

Una manera de integrar todo lo trabajado en este capítulo es resolviendo situaciones problemáticas que permitan retomar los conceptos y procedimientos ya analizados.

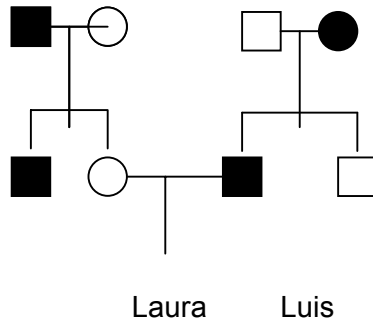
Le proponemos una actividad en cuatro etapas:

- A. Resuelva los siguientes problemas (del 1 al 6).
- B. Señale en general, los contenidos conceptuales y procedimentales que retoman.
- C. Identifique para cada uno de ellos si se trata de problemas causa-efecto o efecto-causa y responda:
  - ¿Cuáles de estos dos tipos de problemas provoca una actividad más completa desde la perspectiva de la investigación científica? Justifique.
  - ¿Cuál sería el objetivo que un docente puede perseguir, al hacer participar a los alumnos de la resolución de cada tipo de problema?
- D. ¿Puede ser la resolución de problemas un eje organizador de la unidad didáctica? ¿Por qué?

#### PROBLEMAS:

1. En plantas de petunia, el alelo A determina el carácter de tallo alto, mientras que el alelo a determina el carácter de tallo enano. Se cruza una planta homocigota de tallo largo con una planta homocigota de tallo enano. Realice el cruzamiento correspondiente y averigüe:
  - a) ¿Cuál es el carácter dominante y cómo se ha dado cuenta de ello?
  - b) ¿Cuál será el genotipo y el fenotipo de los descendientes de esa cruce?
  - c) ¿Si cruzáramos dos plantas de la F1 recién obtenida, cuales serían los genotipos y fenotipos de la descendencia?
  - d) Represente en un esquema una célula de cada una de estas plantas, sólo con un par de cromosomas, e indique los genes que lleva cada uno de los genotipos del problema.
  - e) ¿Qué tipo de reproducción tienen estas plantas vasculares o superiores? ¿Qué tipo de ciclo vital tiene?

2. En los seres humanos, el carácter de ojos marrones domina sobre el carácter de ojos celestes. Aquí le presentamos el árbol genealógico de dos familias, de las cuales dos hijos contrajeron matrimonio (Laura y Luis) y están esperando un bebé. A partir de estos datos, decida cómo codificar los genes y resuelva:



- Indique el genotipo de todos los miembros de las familias.
  - ¿Qué probabilidades tienen Laura y Luis de tener un niño con ojos marrones o celestes? Indíquelo mediante el cruzamiento correspondiente.
  - Dibuje una célula de Luis con un solo par de cromosomas homólogos. Sitúe en ellos los alelos en estudio y dibuje las posibles gametas que puede originar.
3. Un gallo con plumas grises se cruza con una gallina también de plumas grises. Entre su descendencia se encuentran: 15 pollitos grises, 6 negros y 8 blancos. ¿Cuál le parece que es la explicación de estos desconcertantes resultados? Una vez que la tenga, realice el cruzamiento para comprobar si podría ser real. Consejo: revea los casos en que las leyes de Mendel no se cumplen...
4. Un cobayo negro es cruzado con una cobaya albina y produjeron una descendencia de 12 cobayos negros. Se vuelve a cruzar un cobayo negro de esta camada con otra cobaya albina, pero en este caso el resultado es 7 cobayos negros y 5 cobayos albinos. ¿Cuál es la mejor explicación genética para esta situación? Escriba los genotipos de los padres, las gametas y los descendientes.
5. Un hombre tiene 6 dedos en sus manos y en sus pies. Su mujer y su hija tienen manos y pies normales. La presencia de 6 dedos es producida por un gen dominante. Con estos datos: ¿qué proporción de hijos de este matrimonio se espera que tengan extremidades con 6 dedos?
6. Un tipo de distrofia muscular infantil es un carácter recesivo ligado al cromosoma X. Esta enfermedad lleva a la muerte de quienes la padecen a la edad aproximada de 20 años. A diferencia del daltonismo, que tiene una herencia similar, esta enfermedad está restringida a los varones. Sugiera por qué.

## Claves de respuesta de la autoevaluación

Recuerde que lo que ofrecemos aquí son pautas o recursos conceptuales para que usted mismo evalúe el trabajo realizado.



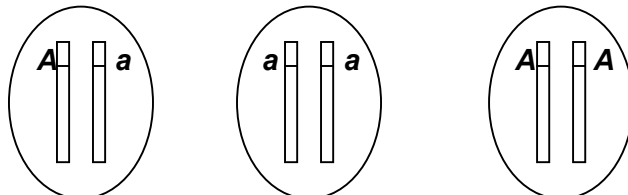
### ACTIVIDAD N° 1

**A**

1.

- a) El alelo **A** es dominante porque está simbolizado con una letra mayúscula, como es la convención.
- b) **AA** x **aa**; toda la descendencia será **Aa**, de genotipo heterocigota y fenotipo tallo alto.
- c) **Aa** x **Aa**; los genotipos de los descendientes serán: 1 **AA**, 2 **Aa**, 1 **aa**, en tanto que los fenotipos serán 3 de tallo alto: 1 de tallo enano.

d)



- e) Reproducción sexual con ciclo vital de tipo haplodiplonte, con la generación gametofítica incluida en la esporofítica.

2. Simbolismo: M = gen de ojos marrones, dominante.

a)

**Mm**    **mm**                      **mm**    **Mm**

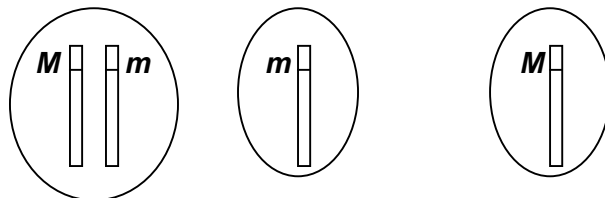
**Mm**    **mm**                      **Mm**    **mm**

Laura

Luis

b) 50% **Mm** (ojos marrones), 50% **mm** (ojos azules).

c) Célula Gametas (50% de cada tipo)



3. Se trataría de un caso de dominancia incompleta, en el cual los individuos heterocigotas tienen plumas grises, los homocigotas dominantes negras y los homocigotas recesivos blancas.

**Simbología: N = gen de plumas negras.**

**Nn** x **Nn**; la descendencia será de genotipo: 1 **NN**, 2 **Nn**, 1 **nn**, y de fenotipo: 1 plumas negras, 2 plumas grises, 1 plumas blancas. Los porcentajes obtenidos en el cruzamiento son semejantes a estas proporciones: 6 con plumas negras, 15 con plumas grises, 8 con plumas blancas.

4. Albino es un rasgo recesivo y negro es dominante. Simbología: N = color negro.

Primer cruzamiento:

| Padres                | Gametas                                   | Descendencia        |
|-----------------------|-------------------------------------------|---------------------|
| <b>NN</b> x <b>nn</b> | todas <b>N</b> o <b>n</b> respectivamente | toda <b>Nn</b> (12) |

Segundo cruzamiento:

| Padres                | Gametas                                                           | Descendencia                        |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Nn</b> x <b>nn</b> | 50% <b>N</b> y 50% <b>n</b><br>y todas <b>n</b> , respectivamente | 50% <b>Nn</b> y 50% <b>nn</b> (7:5) |

5. 50%. Si su mujer y su hija son normales, deben ser homocigotas para dicho gen, lo que indica que el hombre del problema debe ser heterocigota. Entonces:

Simbología: D = dedo extra en pies y manos

Padres: ♀ **dd** x ♂ **Dd**

Descendencia: 50% **Dd** (normales), 50% **dd** (con dedos adicionales).

6. Para tener una hija enferma, tanto padre como madre deben tener el gen recesivo que produce la enfermedad. La mujer lo puede presentar en heterocigosis (es decir ser una portadora sana), pero los hombres que lo tienen manifiestan la enfermedad y como mueren jóvenes, raramente tienen hijos. Por eso, no hay mujeres enfermas pero sí puede haber varones enfermos que heredan este gen recesivo de sus madres.

**B. Los contenidos conceptuales** fundamentales que se retoman son: genes, alelos, dominancia, recesividad, genotipo, fenotipo, homocigosis, heterocigosis, cromosomas homólogos, dominancia incompleta, cromosomas sexuales, herencia ligada al sexo.

Los **contenidos procedimentales** principales se relacionan con resolver cruzamientos, organizar la información en una expresión gráfica, utilizar adecuadamente la simbología genética, plantear hipótesis, poner a prueba la hipótesis, identificar causas y efectos en los problemas.

**C. Los problemas de causa-efecto** son el 1 y el 5.

Los problemas efecto-causa son: el 2, 3, 4 y 6.

Los problemas efecto-causa son los más adecuados para recrear el proceder de la ciencia ya que buscar las causas requiere plantear hipótesis y probarlas hasta encontrar la que produce el efecto señalado. En ese proceder se va aplicando una heurística según un diseño y tomando decisiones similares a las de la investigación científica.

- Los problemas causa-efecto tienen un propósito relacionado con la aplicación de un concepto a través de una deducción. Se corre el riesgo de aprender un mecanismo y utilizarlo en situaciones similares sin razonar sobre el problema. En cambio, los problemas efecto-causa, requieren un razonamiento hipotético deductivo que implica analizar distintas alternativas de solución y, dependiendo del problema, no hay una única respuesta.

**D. Sí puede ser**, si el contenido procedimental es el tópico elegido. En este caso, la secuencia de pasos para resolver diferentes tipos de problemas se convierte en el objetivo de la enseñanza.

## Bibliografía

### Bibliografía didáctica

Ayuso, E., Banet, E. y Abellán, T., Introducción a la Genética en la Enseñanza Secundaria y el Bachillerato: II: ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios?, *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 127-142, Barcelona, 1996.

Fernández González, J.; Elortegui, N.; Rodríguez García, J. y Moreno Jimenez, T., *¿Cómo hacer Unidades Didácticas innovadoras?*. Sevilla, Diada, 1999.

Gil Pérez, D., *Formación de Formadores en Didáctica de las Ciencias*. Valencia, Nau Libros, 1990.

Gil Pérez, D. ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?, *Enseñanza de las ciencias* 9 (1): 69-77, Barcelona, 1991.

Ibañez, G., Planificación de la Unidad Didáctica. Una propuesta de formación. *Aula de Innovación Educativa*, Nº 1, pp.13-15, 1992.

Mercán Iglesias, F. J., Propuestas sobre el diseño de unidades didácticas, *Investigación en el Escuela*, Nº 21, Sevilla, pp. 73-89, 1993.

Millar, R., *Doing Science. Images of Science*. Philadelphia, The Falmer Press, Taylor & Francis, 1989.

Perales Palacios, F. y Cañal de León, P. (Dirección), *Didáctica de las Ciencias experimentales. Teoría y práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. Alcoy, Ed. Marfil, 2000.

Sanchez Blanco, G., De Pro Bueno, A. y Valcárcel Pérez, M., La utilización de un modelo de planificación de UD: el estudio de la disolución en la Educación secundaria, *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (1), 35-50, Barcelona, 1997.

### Bibliografía disciplinar

Russell, P. J., *Fundamentals of Genetics*. California, 2<sup>nd</sup> ed., Addison Wesley Longman, 2000.

Strickberger, M. N., *Genética*. Omega, Barcelona, 1988.

Suzuki, D.T., Griffiths, A.F., Miller, J. H. & R. C. Lewontin, *Introducción al análisis genético*. Madrid, Interamericana, 1992.

Suzuki, D. T., Griffiths, A. J. F., Miller, J. H., & Lewontin, R. C., *Introducción al análisis genético*. Nueva York, 5<sup>a</sup> ed. Interamericama-McGraw-Hill, 1998.

Vicente, M., Biotecnología: el arte de modificar a los seres vivos para beneficio del hombre. *Alambique*, N° 25, pp 15-25, Madrid, 2000.

Watson, J. D., *Biología molecular del gen*. Bogotá, Fondo Educativo Interamericano, 1978.

## Bibliografía comentada del curso

### *Bibliografía didáctica*

Del Carmen L. (coord.) *Cuadernos de formación de profesores; Educación secundaria*, Barcelona, ICE/HORSORI, Universidad de Barcelona, 1997.

*Este libro es una compilación de producciones de diferentes didactas de las ciencias experimentales, quienes presentan una actualización de los diferentes tópicos de esta disciplina. Ellos son: objetivos y contenidos en la educación secundaria, actitudes hacia las ciencias y problemática CTS, resolución de problemas, enseñanza para la comprensión, evaluación como instrumento de aprendizaje y el uso de recursos en la enseñanza.*

Duschl, R. *Renovar la enseñanza de las ciencias, importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid, Narcea, 1997.

*El autor presenta una visión integral de la didáctica de las ciencias y sus diferentes problemáticas, poniendo especial énfasis en el rol de las teorías y la epistemología de la disciplina como criterio de análisis de situaciones de clase y para la toma de decisiones.*

Perales Palacios, F. y Cañal de León, P. (Dirección), *Didáctica de las Ciencias experimentales. Teoría y práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. Alcoy, Ed. Marfil, 2000.

*Se trata de una compilación de propuestas de diferentes autores sobre las problemáticas fundamentales a incluir en la formación de profesores de ciencias experimentales. Ellas son: fundamentos teóricos de la didáctica, currículo en ciencias, la práctica de la enseñanza, las ideas previas y la construcción del conocimiento, la formación de profesores, las áreas transversales del currículo de ciencias.*

Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. *Aprender y enseñar ciencias*. Madrid, Morata, 1998.

*El texto resume diez años de investigación sobre el aprendizaje y enseñanza de las ciencias, desde la doble perspectiva de un psicólogo y un profesor de química. Su propósito es brindar un marco teórico para comprender lo que ocurre en la práctica. Incluye principalmente fundamentos sobre aprendizaje y modelos de enseñanza.*

### *Bibliografía disciplinar*

Curtis, H. & Barnes., *Biología*. Bogotá, Ed. Médica Panamericana, 2000.

*Incluye todos los temas de biología, están bien desarrollados los temas relacionados con la información genética, herencia y evolución. Incluye los últimos avances científicos, en especial de biología molecular, en un lenguaje claro y preciso. Es una obra de Biología General que incluye figuras en color, glosario y problemas para discutir en el aula. Es muy útil para el docente, especialmente para los temas de evolución.*

Solomon, E. P., Berg, L. R., Martin, M. W., & Villee, C. *Biología de Villée*. México, 5ª ed. McGraw-Hill-Interamericana, 1998.

*Obra extensa que cubre todos los temas de biología, incluye cuestionarios, figuras y lecturas complementarias. Es uno de los libros de Biología General que un docente debe tener para consultar y profundizar temas de biología.*

## Palabras finales del módulo I

Aquí estamos, a punto de culminar este primer tramo del camino que denominamos: **Genética**. Seguramente usted ya estará aprontándose para realizar la tarea con la que finalizará su participación en este módulo: la de la evaluación final. Para muchos, ¡la tan odiada evaluación!, para otros, una tarea más en este recorrido de capacitación en biología. Estamos seguros de que usted, después de haber trabajado tanto a lo largo de toda la propuesta, también tomará esta instancia como un evento casi “natural”, propio de todo proceso de enseñar y de aprender.

Acordará con nosotros que el material que le ofrecimos compartir en este curso nos mantuvo en contacto de una manera diferente de la utilizada habitualmente. Estamos seguros de que la propuesta de trabajo, que compartimos en este módulo, le permitió no sólo potenciar su profesionalidad y revisar su práctica de enseñanza específica sino, también, tomar contacto, conocer e intercambiar ideas con otros docentes interesados en la problemática de la enseñanza de biología. Todo lo cual constituye un bagaje imponderable a la hora de promover en los alumnos el descubrimiento, la interpretación y la internalización de los complejos fenómenos del mundo biológico.

Muy posiblemente hayan quedado en el camino aspectos a considerar, problemáticas que no fueron desarrolladas en su totalidad, imprevistos que no se contemplaron. Sin embargo, la tarea no ha sido ni poca ni menor.

A usted le queda, ahora, revisar todo lo trabajado para sentirse más seguro ante el último paso de este tramo, el que involucra la evaluación del módulo.

Por ello nos despedimos, momentáneamente, esperando que este camino que inauguramos con su presencia no se corte aquí, sino que se prolongue a través de su participación en el segundo tramo, el correspondiente al módulo: **Evolución**. Por ello, **¡Felicitaciones!** por la tarea desarrollada.

Lo aguardamos muy pronto, para continuar con el otro tramo del camino tan o más rico y placentero que este que le hemos ofrecido hasta aquí.