

La Enseñanza de la genética: Una propuesta didáctica para la educación secundaria obligatoria desde una perspectiva constructivista

Francisco Javier Iñiguez Porras

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

TESIS DOCTORAL

LA ENSEÑANZA DE LA GENÉTICA: UNA
PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA EDUCACIÓN
SECUNDARIA OBLIGATORIA DESDE UNA
PERSPECTIVA CONSTRUCTIVISTA

Francisco Javier Íñiguez Porras

2005

CAPÍTULO 6

RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este capítulo mostramos los resultados obtenidos a lo largo de la investigación. Se muestran las concepciones del alumnado sobre la estructura, ubicación y función del material hereditario antes de iniciar el proceso didáctico en cada uno de los grupos (pretest). A continuación se estudia el grado de transformación de dichas ideas y en qué grado se ha producido en cada uno de los grupos y tratamientos didácticos aplicados (postest). El siguiente paso es verificar el grado de retención que se ha producido varios meses después de la finalización de la docencia, esto es, el curso académico siguiente (recordatorio). Otros aspectos que se muestran son los modelos de aprendizaje y el índice de mejora descritos en el capítulo 5 de la presente memoria.

Los resultados obtenidos sobre las concepciones del alumnado en cada fase de la investigación y de qué manera los dos tratamientos didácticos utilizados han podido modificarlas, han sido agrupados en la siguiente manera:

En el apartado 6.1. hacemos un análisis global del conjunto del cuestionario a partir de una valoración de las ideas manifestadas por el alumnado.

En el apartado 6.2. se estudia cómo los modelos didácticos han podido modificar las concepciones relativas a la localización y estructura de los cromosomas.

En el apartado 6.3. se analiza la evolución de las ideas del alumnado sobre la función de los cromosomas.

En el apartado 6.4. se estudian las concepciones de los estudiantes sobre la localización de los genes.

Finalmente, en el apartado 6.5. se hace un análisis global sobre la relación entre la información hereditaria, su localización y función y la célula.

6.1. ANÁLISIS GLOBAL DEL CUESTIONARIO

Se ha procedido a cuantificar cada una de las respuestas de los alumnos en el cuestionario hasta obtener una valoración total. De esta manera, una valoración baja indica una presencia elevada de errores conceptuales, muy a menudo asociados a concepciones alternativas en el alumnado, mientras que una valoración alta señala unas concepciones más próximas al conocimiento científico aceptado como correcto. El máximo valor de puntuación que puede alcanzarse es de 26.

6.1.1. Formación de las agrupaciones

Lo primero que queremos comprobar es si los diferentes grupos experimentales y control son homogéneos en el pretest antes de iniciar el proceso didáctico. Aplicando el test de U de Mann-Whitney y el test de Kruskal-

Wallis determinaremos si existen diferencias significativas entre los grupos, lo que nos permitirá agrupar muestras.

a) Grupos Experimentales

Efectivamente hay diferencias entre los cinco grupos experimentales ($\chi^2=21.131$; $p<0.001$), lo que nos indica que no forman una unidad homogénea. Aplicando la U de Mann-Whitney vamos a estudiar qué grupos se diferencian del resto para determinar la posibilidad de agrupar algunos de ellos. Los resultados se muestran en la tabla 6.1.1.

	E2	E3	E4	E5
E1	U = 91.5 p = 0.273 No se diferencian	U = 48.5 p = 0.001 Sí se diferencian	U = 144.5 p = 1 No se diferencian	U = 87.0 p = 0.004 Sí se diferencian
E2		U = 60.0 p = 0.019 Sí se diferencian	U = 93.0 p = 0.299 No se diferencian	U = 97.0 p = 0.063 No se diferencian marginalmente
E3			U = 48.5 p = 0.001 Sí se diferencian	U = 153.0 p = 0.331 No se diferencian
E4				U = 82.0 p = 0.003 Sí se diferencian

Tabla 6.1.1. Agrupabilidad de los grupos experimentales.

Observando los resultados del análisis estadístico vemos que hay grupos que se diferencian entre sí y otros que no presentan diferencias y que podrían considerarse como uno solo. El resultado del test entre E2 y E5 nos da una probabilidad de 0.063 que consideramos marginalmente significativa (Stoehr, 1999), tal y como se detalló en el capítulo 5. Observamos que los grupos E1, E2 y E4 no se diferencian mutuamente entre sí y tal vez pudieran formar una única agrupación. Para comprobar que, efectivamente, no existen diferencias significativas entre ellos, aplicamos el test de Kruskal-Wallis y obtenemos un valor del estadístico de 1.482 y una probabilidad de 0.477, lo que nos indica que no existen diferencias significativas y pueden constituir un único grupo. Por otra parte los grupos E3 y E5 se diferencian de E1, E2 y E4, pero no hay diferencias entre sí ($p=0.331$), por lo que constituirán una segunda agrupación experimental.

Observando en la tabla 6.1.2. los valores de la mediana y los percentiles nos podremos hacer una idea del nivel de concepciones iniciales de las diferentes agrupaciones.

	Percentil 25	Mediana	Percentil 75
E1	4	8	16
E2	2.75	7	10
E3	1.5	3	4
E4	5	9	11
E5	2	4	6.25

Tabla 6.1.2. Estadística descriptiva de los grupos experimentales en el pretest.

Los valores de la mediana en E1, E2 y E4 son similares y lejos de los valores presentes en E3 y E5. Justamente son estas las agrupaciones que hemos decidido realizar y debido al valor de las medianas las denominaremos de la siguiente manera:

E1 + E2 + E4 : Experimental Medio (EM)

E3 + E5 : Experimental Bajo (EB)

Por tanto, los análisis que realizaremos posteriormente para determinar el grado de eficiencia de la propuesta didáctica propuesta por nosotros, se llevarán a cabo sobre estas dos nuevas agrupaciones.

b) Grupos Control

El proceso para determinar las diferencias y posibles nuevas creaciones en los cuatro grupos control será el mismo que hemos realizado en los grupos experimentales.

En primer lugar hemos aplicado el test de Kruskal-Wallis y vemos que existen diferencias significativas entre los cuatro grupos ($\chi^2 = 19.540$; $p < 0.001$). A través del test de U de Mann-Whitney veremos si hay posibilidad de formar nuevas agrupaciones.

	C2	C3	C4
C1	U = 5.5 p < 0.001 Sí se diferencian	U = 77.5 p = 0.241 No se diferencian	U = 72.0 p = 0.105 No se diferencian
C2		U = 12.0 p < 0.001 Sí se diferencian	U = 29.5 p = 0.003 Sí se diferencian
C3			U = 122.5 p = 0.625 No se diferencian

Tabla 6.1.3. Agrupabilidad de los grupos Control

Parece que el grupo C2 se diferencia del resto, que podría formar una nueva agrupación y observando el resultado del test de Kruskal-Wallis aplicado a los

grupos C1, C3 y C4 ($\chi^2= 2.778$; $p=0.249$) podemos afirmar que no existen diferencias significativas entre ellos y pueden formar una nueva agrupación.

Los valores de la mediana y los percentiles nos permitirá obtener una aproximación más fiable sobre el punto de partida de las agrupaciones Control.

	Percentil 25	Mediana	Percentil 75
C1	4	6	9
C2	11	14	17
C3	4	8.5	10.75
C4	5.5	8	12

Tabla 6.1.4. Estadística descriptiva de los grupos Control

Podemos comprobar que el grupo C2, que se diferencia significativamente del resto, presenta una mediana mucho mayor que el resto de grupos. En los otros tres grupos los valores de la mediana son similares a los del grupo Experimental Medio, por lo que las nuevas agrupaciones del tratamiento Control son:

C1 + C3 + C4: Control Medio (CM)

C2: Control Alto (CA)

6.1.2. Diferencias pretest-postest

Para poder comprobar si después de la instrucción las concepciones del alumnado se han modificado, realizaremos el test de Wilcoxon. La existencia de diferencias significativas nos puede hacer pensar en una eficacia del modelo didáctico utilizado. En la tabla 6.1.5. podemos observar los resultados del contraste estadístico.

	Estadístico	P	Mediana		Percentil 25		Percentil 75	
			Pretest	Postest	Pretest	Postest	Pretest	Postest
CM	-5.513	<0.001	7	14	4	10	10.25	17.25
CA	-0.356	0.722	14	14	11	13	17	18
EM	-5.972	<0.001	7.5	20	4.25	16.25	11	23
EB	-5.445	<0.001	3	16	2	12	5	19

Tabla 6.1.5. Diferencias entre el pretest y el postest en las diferentes agrupaciones.

En los dos grupos Experimentales y en el Control Medio aparecen diferencias significativas después de recibir la instrucción. Parece, por tanto, que el modelo didáctico de transmisión de conocimientos y el modelo constructivista diseñado por nosotros se han manifestado válidos para modificar las concepciones del

alumnado sobre diferentes aspectos relacionados con la estructura, función y localización de la información hereditaria.

Sin embargo, en el grupo Control Alto no hay diferencias significativas después de la instrucción. Llama la atención que un grupo en el que las concepciones iniciales eran más próximas al conocimiento científico y que se diferenciaban perfectamente del resto de grupos, no haya mostrado una mejora en su nivel conceptual. La mediana de CA en el pretest es la misma que en el postest, cosa que no sucede en las otras tres agrupaciones.

Observando más detenidamente los dos grupos comparables en el pretest, CM y EM, vemos que partían de una mediana de 7 y 7.5 respectivamente y en el postest se pasa a 14 y 20 respectivamente. Es decir, grupos que partían de un nivel comparable en sus concepciones, se distancian después de recibir un tratamiento didáctico diferenciado. El grupo EB pasa de una mediana de 3 a una mediana de 16, es decir, aunque en el pretest partía de un nivel bastante inferior a CM, en el postest, logra superarlo, de la misma manera que a la agrupación CA.

En las dos agrupaciones experimentales se observan diferencias significativas tras la instrucción y además las medianas son muy diferentes respecto del pretest e incluso superiores a los dos grupos control. Sin embargo, tan sólo en una de las dos agrupaciones control se han obtenido diferencias significativas entre pretest y postest y el valor de las medianas es en ambos casos inferior al de los dos grupos experimentales.

Podemos afirmar que el modelo constructivista ha sido capaz de modificar estructuras conceptuales distantes de la corrección científica en un grado superior al modelo tradicional. Éste último ha favorecido una mejora de las concepciones en uno de los grupos en estudio, aunque en menor medida que en los experimentales y ha sido incapaz en el otro.

Si ahora comparamos las diferentes agrupaciones entre sí, antes de la instrucción y después de ella, podremos obtener una visión mucho más exacta.

PRETEST	Experimental Bajo	Experimental Medio	Control Alto
Control Medio	U = 373.5 p < 0.001 Sí hay diferencias	U = 1039.5 p = 0.625 No hay diferencias	U = 47.0 p < 0.001 Sí hay diferencias
Control Alto	U = 0.000 p < 0.001 Sí hay diferencias	U = 92.0 p = 0.001 Sí hay diferencias	
Experimental Medio	U = 423.0 p < 0.001 Sí hay diferencias		

Tabla 6.1.6. Test de la U de Mann-Whitney en el pretest entre las agrupaciones

POSTEST	Experimental Bajo	Experimental Medio	Control Alto
Control Medio	U = 734 p = 0.149 No hay diferencias	U = 471.0 p < 0.001 Sí hay diferencias	U = 223.5 p = 0.549 No hay diferencias
Control Alto	U = 192.5 p = 0.605 No hay diferencias	U = 131.5 p = 0.010 Sí hay diferencias	
Experimental Medio	U = 559.5 p = 0.001 Sí hay diferencias		

Tabla 6.1.7. Test de la U de Mann-Whitney en el postest entre las agrupaciones.

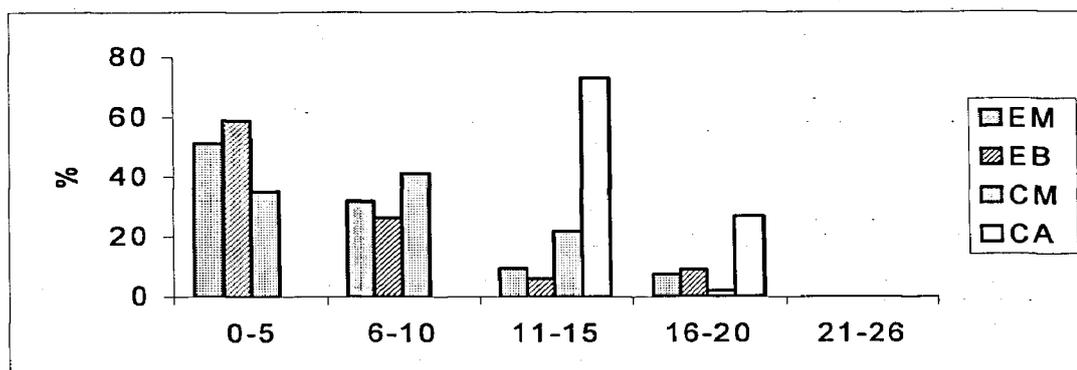
En el pretest no hay diferencias entre los grupos CM y EM, tal y como hipotetizábamos y por tanto pueden servir como indicador claro a lo largo de este estudio, ya que son los dos grupos más directamente comparables entre sí. El grupo CM se diferencia del grupo EB en el sentido de que las concepciones del alumnado control son más cercanas a la corrección científica. El grupo CA se diferencia de todos al partir de un nivel bastante superior al resto (recordemos que su mediana era de 14).

En el postest vemos que sí hay diferencias significativas entre EM y CM debidas a un proceso didáctico diferenciado. Las diferencias son a favor del grupo experimental tal y como se comprueba al ver las medianas, que son 20 en EM y 14 en CM. Pero es que las diferencias detectadas en el pretest entre CM y EB ahora no existen, es decir, el grupo EB ha conseguido superar la distancia que lo separaba del grupo control e incluso superarlo, ya que la mediana de esta agrupación es de 16. Estos resultados nos hacen reafirmar la idea que apuntábamos con anterioridad, en el sentido de una mayor potencia del programa didáctico constructivista.

Esta afirmación se hace más sólida si estudiamos lo que sucede con el grupo Control Alto. Mientras que en el pretest se diferenciaba del resto de agrupaciones, en el postest ya no se diferencia del EB, debido a una mejora importante de éste último. De hecho la mediana en esta segunda fase es mayor en EB que en CA. También se observan diferencias entre CA y EM, pero en este caso no lo son en el mismo sentido que en el pretest, todo lo contrario, son debidas a una mejor situación de la agrupación experimental, tal y como nos lo demuestra su elevada mediana, que es de 20.

En la gráfica 6.1.1. podemos observar la frecuencia de alumnos en los diferentes intervalos que hemos establecido en el pretest. No hay alumnos que hayan alcanzado una valoración superior a 21 y muy pocos entre 16 y 20, siendo la mayor parte de éstos pertenecientes al grupo CA, concretamente un 27% y el resto de alumnos de este grupo se encuentra en el intervalo inmediatamente menor. Observamos que en las otras tres agrupaciones se produce una gradación desde el primer intervalo hasta el cuarto, aunque

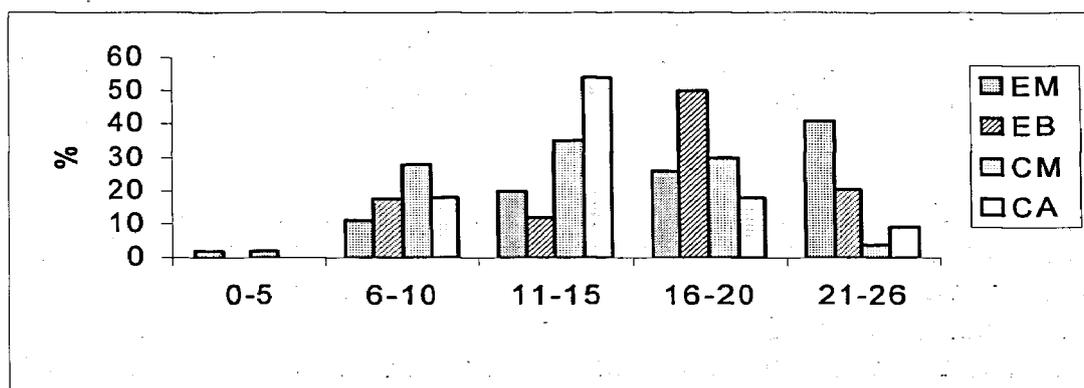
destaca la mayor presencia de valoraciones bajas en EB. El grupo CM presenta una distribución de frecuencias similar al grupo EM e incluso ligeramente más favorables.



Gráfica 6.1.1. Distribución de frecuencias por intervalos de las valoraciones globales del cuestionario en el pretest.

En la gráfica 6.1.2. podemos comprobar la variación de la distribución de frecuencias observadas en el pretest. Lo primero que llama la atención es que en el grupo CA la distribución apenas ha variado o incluso ha empeorado ligeramente, ya que algunos alumnos han alcanzado una valoración incluso inferior a la que se obtuvo en el pretest.

Los intervalos de mayor valoración están dominados claramente por las agrupaciones experimentales y la mayor parte de los alumnos se encuentran con valores de los últimos dos intervalos, presentando una distribución de frecuencias prácticamente simétrica a la de la gráfica 6.1.1. El grupo CM se encuentra distribuido en los tres intervalos centrales, con valoraciones superiores a las detectadas en el pretest, aunque diferenciándose de las de los grupos experimentales, especialmente de EM que era el grupo que partía de un nivel comparable. Mientras que en este grupo experimental, el 41% de los alumnos obtienen una valoración superior a 21, en el grupo CM tan solo lo consiguen el 4%.



Gráfica 6.1.2. Distribución de frecuencias por intervalos de las valoraciones globales del cuestionario en el postest.

La distribución de las frecuencias de las valoraciones globales del cuestionario en las diferentes agrupaciones en el pretest y en el postest mostradas gráficamente, nos permite reafirmarnos en nuestro postulado. Consideramos que nuestro modelo didáctico ha permitido eliminar algunas concepciones erróneas y hacer que los alumnos muestren diferencias en sus ideas después del tratamiento didáctico de manera muy significativa. Esta significación se ha producido dentro del mismo grupo en las dos fases de investigación y entre las agrupaciones experimentales y las control.

Efectivamente, en una de las agrupaciones el método tradicional ha conseguido una mejora que ha sido significativamente diferente después de la docencia, pero opinamos que ha sido menos potente que el efecto provocado por una metodología constructivista.

6.1.3. Diferencias en el recordatorio

Nos interesa conocer si los resultados obtenidos en el postest se confirman varios meses después en la tercera fase llamada recordatorio. Dado que la intervención didáctica se hizo en cuarto de ESO, muchos alumnos no siguieron estudiando y por tanto los cuestionarios tan solo se pudieron aplicar a los que continuaron estudiando Bachillerato. La desaparición de alumnos se ha producido de manera desigual y por tanto algunas agrupaciones tienen importantes diferencias respecto el total de alumnos del postest. Por otra parte, algunos alumnos del recordatorio están realizando Bachillerato Científico, con lo que podrían disponer de conocimientos conceptuales para responder correctamente el cuestionario mientras que el resto lo hacen de las modalidades Social, Humanístico o Tecnológico.

En la tabla 6.1.8. vemos las diferencias entre el recordatorio y las dos fases anteriores.

	POSTEST-RECORDA			PRETEST-RECORDA		
	Estadístico	p	¿Hay diferencias?	Estadístico	p	¿Hay diferencias?
CM	-2.294	0.022	Sí	-2.360	0.018	Sí
CA	-0.677	0.498	No	-0.632	0.527	No
EM	-4.063	0.001	Sí	-3.779	<0.001	Sí
EB	-0.835	0.404	No	-3.923	<0.001	Sí

Tabla 6.1.8. Diferencias en los grupos en las diferentes fases de investigación.

	Mediana			Percentil 25			Percentil 75		
	Pretest	Posttest	Recorda	Pretest	Posttest	Recorda	Pretest	Posttest	Recorda
CM	7	14	15	4	10	6	10.25	17.25	16
CA	14	14	15	11	13	14.5	17	18	18.5
EM	7.5	20	17	4.25	16.25	11	11	23	20
EB	3	16	13	2	12	11.5	5	19	19.5

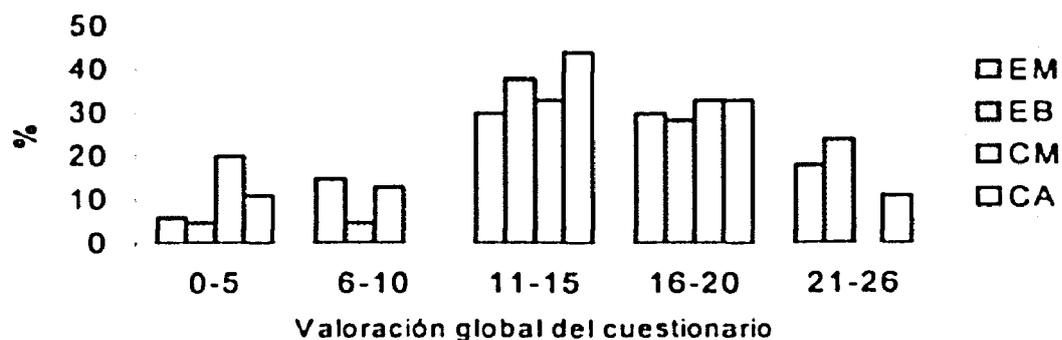
Tabla 6.1.9. Estadística descriptiva de las agrupaciones en las tres fases de la investigación.

La agrupación Control Alto es la única que no experimenta cambios desde el punto de vista estadístico en ninguna de las tres fases de estudio. Ni después de la docencia ni pasados varios meses muestra diferencia, lo que indica que las concepciones que aparecieron en el pretest se han mantenido a lo largo del tiempo y el impacto de la instrucción ha sido prácticamente nulo.

Los grupos que de entrada eran comparables, es decir EM y CM presentan una tendencia idéntica. Aparecen diferencias significativas tanto entre el posttest y el recordatorio como entre el pretest y el recordatorio. Esto significa que se ha producido un retroceso pasado el tiempo, aunque no se llegan a las concepciones iniciales, ya que hay diferencias significativas respecto el pretest. Aparece un dato especialmente curioso y es que la mediana del CM en el recordatorio es superior a la del posttest. Una posible explicación sería la presencia de alumnado de esta agrupación en el Bachillerato Científico y por tanto con un nivel conceptual diferente e incluso una mayor motivación a la hora de contestar al cuestionario. En el grupo EM se produce un descenso en el valor de la mediana, aunque sigue siendo superior al de la agrupación Control.

En el grupo EB no hay diferencias entre el posttest y el recordatorio, lo que sería un indicador de la retención en alumnos del tratamiento experimental. Además se diferencian significativamente del pretest, lo cual indica que no han vuelto a posiciones iniciales. No obstante la mediana de estos alumnos en el recordatorio es inferior a la del EM e incluso a la del CM, por lo que debemos manifestar un optimismo moderado. Es cierto que ha habido retención, pero la tendencia no difiere excesivamente de la observada en los grupos EM y CM.

En la gráfica 6.1.3. podemos ver la distribución de las frecuencias de la valoración global del cuestionario en el recordatorio.



Gráfica 6.1.3. Distribución de frecuencias por intervalos de las valoraciones globales del cuestionario en el recordatorio.

En el recordatorio vuelven a aparecer bastantes alumnos en los intervalos con menor valoración, mientras que la mayoría de las frecuencias se sitúan en el tercer y cuarto intervalo. Sin embargo, creemos importante señalar la presencia de un 18% de alumnos del grupo EM en el intervalo mayor y de un 24% del grupo EB en el mismo intervalo. Por el contrario, en los grupos control tan solo aparece un 11% correspondiente al grupo CA.

Por otra parte, en el intervalo de menor valoración persiste un 20% de alumnos del grupo CM y un 11% del grupo CA, mientras que en los grupos experimentales tan solo hay un 6% del grupo EM y un 5% del grupo EB.

Esta distribución de frecuencias nos hace ser optimistas y, teniendo presentes todos los datos, observamos una tendencia hacia una moderada eficiencia de nuestra propuesta didáctica en el recordatorio. Comparando las diferentes agrupaciones entre sí en el recordatorio podemos ver que no existen diferencias entre grupos que sí la presentaron en otras fases de la investigación.

RECORDATORIO	Experimental Bajo	Experimental Medio	Control Alto
Control Medio	U = 129.0 p = 0.359 No hay diferencias	U = 165.0 p = 0.066 Sí hay diferencias marginalmente	U = 50.0 p = 0.290 No hay diferencias
Control Alto	U = 81.5 p = 0.555 No hay diferencias	U = 140.5 p = 0.806 No hay diferencias	
Experimental Medio	U = 305.0 p = 0.461 No hay diferencias		

Tabla 6.1.10. Test de la U de Mann-Whitney en el recordatorio en las diferentes agrupaciones.

Desde el punto de vista estadístico se ha producido una homogeneización, salvo entre las agrupaciones EM y CM, que se diferenciaban claramente en el postest y ahora se observan diferencias marginales. Tal vez sea debido a alguna de las razones que hemos expuesto al inicio de este subapartado sobre el fenómeno de la mortandad estadística que produce el hecho de que los alumnos no sigan estudiando bachillerato. Otra razón puede ser debida a la propia estrategia didáctica, en el sentido de que no ha sido capaz de provocar el suficiente grado de retención.

No obstante, en la gráfica 6.1.3. hemos detectado algunas tendencias que también se manifestaron al analizar las medianas y nos hace tener un cierto grado de optimismo.

6.1.4. Índice de mejora

Ya dijimos que el valor máximo del cuestionario es de 26, por lo que la expresión que nos permite calcular el índice de mejora (ver capítulo 5) es la siguiente:

$$\text{Índice de mejora (IM)} = \frac{\text{POSTEST} - \text{PRETEST}}{26 - \text{PRETEST}}$$

Cada alumno tiene un IM del global del cuestionario y esto nos permite conocer hasta qué punto la intervención didáctica ha permitido que sus concepciones se acerquen a las consideradas científicamente correctas. Pero además queremos saber si se producen diferencias entre los tratamientos didácticos, para así poder calibrar la eficacia de uno respecto del otro.

Antes de aplicar los test estadísticos hay que tener en cuenta que el Índice de Mejora es una variable continua y por tanto susceptible de recibir tratamiento con estadística paramétrica. Por tanto, tenemos que comprobar si existe o no normalidad en la variable con la que queremos trabajar.

Aplicando el test de Lilliefors obtenemos un valor del estadístico de 0.144 (53 grados de libertad) y una probabilidad de rechazar la hipótesis nula de 0.008. Al ser menor de 0.05 no podemos considerar normal la variable Índice de Mejora y tenemos que aplicar estadística no paramétrica.

Para determinar si existen diferencias entre las cuatro agrupaciones hemos realizado la prueba de U de Mann-Whitney, obteniéndose los resultados siguientes:

	Experimental Bajo	Experimental Medio	Control Alto
Control Medio	U = 268.5 p < 0.001 Sí hay diferencias	U = 565.5 p < 0.001 Sí hay diferencias	U = 215.5 p = 0.448 No hay diferencias
Control Alto	U = 97.5 p = 0.018 Sí hay diferencias	U = 159.5 p = 0.019 Sí hay diferencias	
Experimental Medio	U = 852.5 p = 0.673 No hay diferencias		

Tabla 6.1.11. Diferencias del Índice de Mejora entre las agrupaciones.

Vemos que no existen diferencias significativas entre las dos agrupaciones experimentales y tampoco entre las dos agrupaciones control entre sí. Aunque el grupo EB partía de un nivel inferior al de EM, vemos que la mejora ha sido equivalente en ambas agrupaciones. De forma análoga, el grupo CA partía de un nivel superior al del resto de agrupaciones y ahora no se diferencia del otro grupo control, el CM.

Ahora bien, cuando comparamos las agrupaciones experimentales con las control, vemos que siempre existen diferencias entre un grupo experimental y otro control. Puede decirse que los resultados son perfectamente diferenciables según el tratamiento que se haya aplicado.

Los resultados obtenidos nos indican que el índice de mejora es diferente en los grupos que han sido sometidos a diferentes propuestas didácticas. Nos falta saber qué agrupaciones tienen mejores valores en los índices de mejora. Los estadísticos que mejor nos pueden informar de ello son la mediana y los cuartiles (ver tabla 6.1.12).

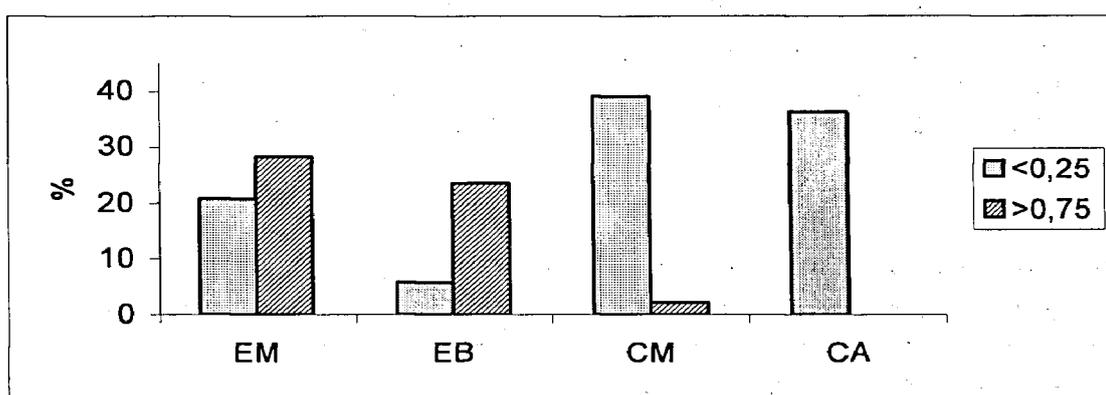
	Percentil 25	Mediana	Percentil 75
CM	0.12	0.28	0.47
CA	0	0.31	0.59
EM	0.32	0.64	0.77
EB	0.44	0.58	0.75

Tabla 6.1.12. Estadística descriptiva del Índice de Mejora

Podemos observar que la mediana en los grupos experimentales es bastante mayor que en los grupos control, teniendo en cuenta que el máximo valor es 1. Aunque los dos grupos control partían de un nivel conceptual más alto que el de EB, el índice de mejora de éste nos indica que los alumnos han superado el salto que les separaba y aun han obtenido unos resultados conceptualmente más cercanos a la corrección científica. En el otro grupo experimental, la mejora ha sido incluso mayor que en EB, mientras que en el grupo CA que partía de un nivel de corrección elevado, no se ha observado capacidad de

acercarse aún más a concepciones conceptualmente correctas. Estos resultados nos muestran que la mejora ha sido mucho mayor en los grupos experimentales y nos hacen pensar que la causa de ello ha sido el impacto de nuestra propuesta didáctica. Es importante señalar que los dos grupos que en principio eran más directamente comparables, CM y EM, muestran índices de mejora muy diferentes, ya que la mediana en EM es de 0.64, mientras que en CM es de 0.28.

Para visualizar claramente la desigual distribución de los índices de mejora en las cuatro agrupaciones hemos realizado una gráfica (ver gráfica 6.1.4.) en la que mostramos el porcentaje de alumnos con índice inferior a 0.25 y superior a 0.75 en cada agrupación.



Gráfica 6.1.4. Distribución de los índices de mejora en las agrupaciones

Podemos comprobar que en los grupos control apenas hay alumnos que hayan obtenido un índice de mejora superior a 0.75, mientras que en los grupos experimentales el porcentaje es considerable, concretamente un 28.30% en EM y un 23.52% en EB.

El porcentaje de alumnos de tratamiento experimental con índice inferior a 0.25 es bastante menor que en los controles, destacando el grupo EB, donde sólo el 5.88% del alumnado tiene un índice tan bajo. Por el contrario, en los grupos control nos encontramos con una gran parte de alumnos que se encuentran en este intervalo, concretamente un 39.13% en CM y un 36.36% en CA.

Estos datos nos confirman que, efectivamente, el tratamiento didáctico propuesto por nosotros es capaz de producir una mayor adaptación de las concepciones del alumnado a las científicamente correctas y provocar un cambio conceptual. En los grupos que han seguido un modelo tradicional de enseñanza de la genética, aun partiendo de niveles conceptuales altos y moderadamente correctos, no se ha observado esta misma tendencia.

Aunque en los apartados siguientes detallaremos cada uno de los aspectos trabajados en la propuesta didáctica y su impacto en el alumnado, consideramos que los resultados obtenidos en el análisis global de todo el cuestionario son muy fiables a la hora de determinar la eficacia de un modelo

didáctico. Por tanto, aunque en algún aspecto determinado el modelo tradicional de enseñanza puede ser igualmente potente para provocar un cambio conceptual, de manera conjunta no lo es tanto como el modelo experimental.

6.2. LOCALIZACIÓN Y ESTRUCTURA DE LOS CROMOSOMAS

Diversos estudios han puesto de manifiesto la dificultad que tienen los alumnos en conocer la estructura de los cromosomas y su ubicación exacta en el organismo y en la célula (Kindfield, 1991; Pashley, 1994; Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lewis et al., 2000). Incluso nos encontramos con un buen número de alumnos que ignoran que los cromosomas se encuentran en todos los seres vivos y con frecuencia consideran que, por ejemplo, las plantas no tienen dichas estructuras (Banet y Ayuso, 1995; Wood-Robinson et al., 1998).

Detectamos una cierta similitud entre los problemas que tienen los alumnos para localizar e identificar los cromosomas y otras estructuras implicadas en los mecanismos de transmisión de la información hereditaria. Por esta razón, la construcción de redes sistémicas nos puede ayudar a determinar la estructura conceptual del alumnado sobre la ubicación de los cromosomas. A partir de las representaciones gráficas que han elaborado los alumnos en respuesta a la pregunta del cuestionario “¿Dónde se encuentran los cromosomas? Haz un esquema o dibujo que lo muestre”, hemos podido obtener información sobre las concepciones del alumnado respecto de la localización y estructura de los cromosomas.

6.2.1. Red sistémica pretest

Siguiendo los pasos descritos en el capítulo 5 sobre la metodología utilizada para la confección de una red sistémica, hemos podido comprobar que las concepciones iniciales del alumnado permiten elaborar un única red sistémica que se ajusta a los grupos control y experimental.

La primera gran categorización que podemos hacer de las concepciones del alumnado se refiere a la existencia de una clara diferenciación entre alumnos que dibujan la célula y los que no la dibujan. En un principio obviamos el rigor científico o la exactitud conceptual, tan solo nos interesa conocer qué ideas presentan los alumnos. Por eso establecemos dos categorías: *Representa la célula* – *No representa la célula*. Ahora bien, algunos alumnos no han dibujado nada o han presentado respuestas incongruentes. Por ello, en el primer nivel de categorización, aparecen también estos resultados que hemos definido como *No dibuja e Incongruente*.

A partir de este punto, cada una de las categorías puede seguir siendo subclasificada en función de las estructuras presentes en cada una de las dos primeras categorías y que no tienen por qué coincidir. Por esta razón, la

primera categorización *Representa la célula* ha sido subcategorizada según el tipo de célula que han representado. Mientras que algunos alumnos representan corpúsculos celulares que recuerdan células somáticas; otros dibujan espermatozoides u oocitos. En el caso del gameto masculino se encuentra bien diferenciado con la cabeza y la cola correctamente presentada. En muchas de estas creaciones el alumnado ha indicado expresamente que se trata de este tipo de célula. Por ello las dos categorías que establecemos son: *Célula somática – Célula sexual*.

La mayor parte de células dibujadas son figuras circulares con algún punto en el centro que representa el núcleo, cuando son pocas las formas celulares que tienen esta forma. Durfort (1998) cree que es porque fue el primer dibujo que realizó el profesor al describirles la célula y que es el dibujo que se muestra en los diferentes niveles de enseñanza. Ello se mostraría en congruencia con la opinión de algunos autores, que sostienen que el profesorado y los libros de texto pueden ser una fuente de errores conceptuales o al menos ayudarían a reforzar determinadas concepciones (Cho et al., 1985; Kearsy y Turner, 1999).

La categoría *Célula somática* puede subclasificarse en función de la presencia o la ausencia de núcleo. Sin embargo, los dibujos pertenecientes a la categoría *Célula sexual* no han presentado núcleo. Una tercera categorización derivada de *Célula somática* sería *Célula con núcleo – Célula sin núcleo*.

Una primera aproximación de la red sistémica sería la siguiente:

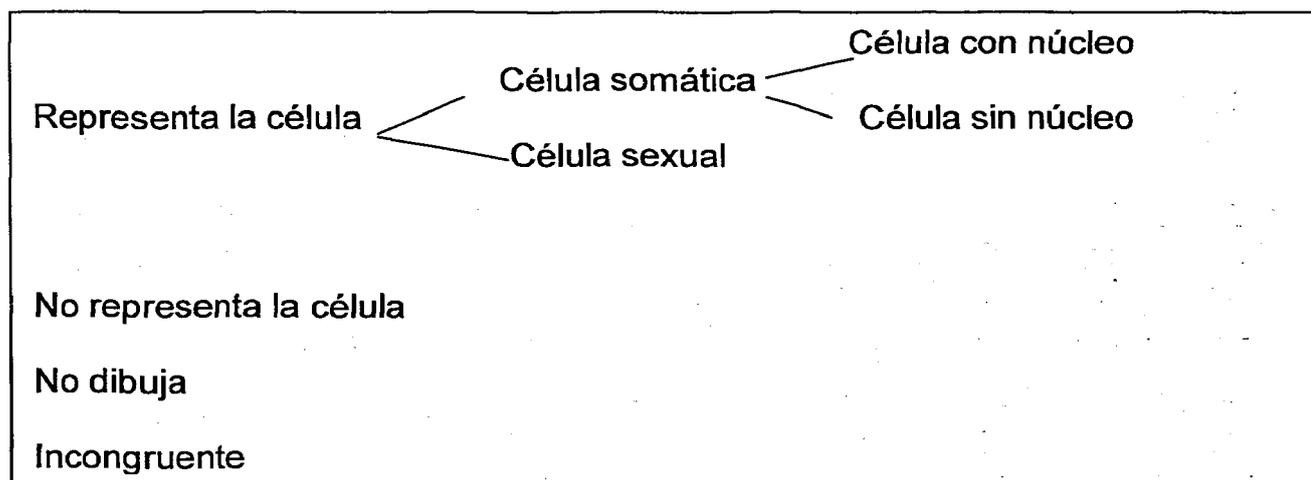


Figura 6.2.1. Primer nivel de categorización de la red sistémica.

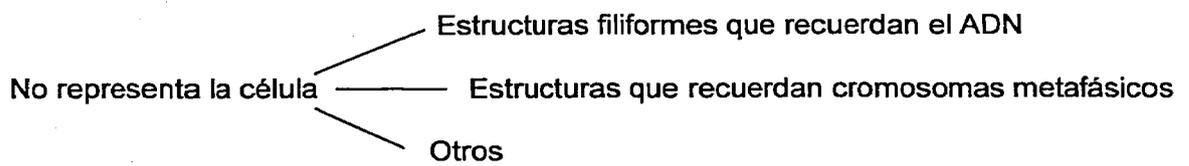
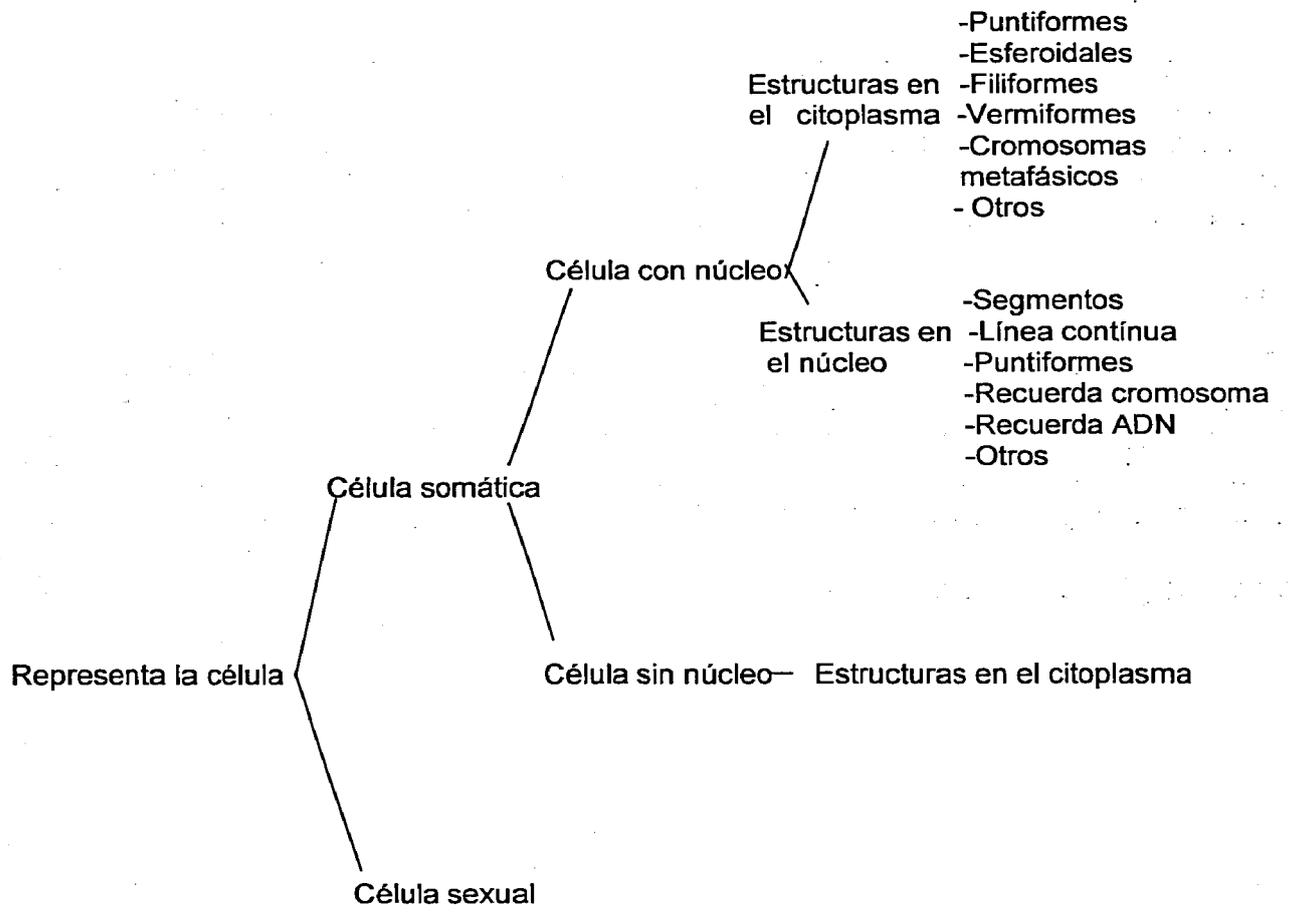
Aún puede subclasificarse más la categoría *Célula con núcleo* en función de la presencia de estructuras en el núcleo dibujado o bien en el citoplasma de la célula. Mientras que en esta categoría es muy rica la variedad de creaciones realizadas, en la categoría *Célula sin núcleo* no hay apenas variedad. Esto nos hace diferenciar en la categoría *Célula con núcleo* dos aspectos nuevos: *Estructuras en el núcleo – Estructuras en el citoplasma*.

A partir de este último nivel de categorización hay una gran diversidad de estructuras presentes que hemos clasificado en función de su aspecto geométrico, estableciendo un apartado en el que se ubican creaciones de muy difícil categorización. Las estructuras presentes se han definido como: *Puntiformes, Esferoidales, Filiformes, Vermiformes, Segmentos, Línea continua, Estructura que recuerda ADN, Estructura que recuerda cromosomas metafásicos, Otros.*

El primer nivel de clasificación diferenciaba entre *Representa la célula- No representa la célula*. La mayor parte de las respuestas han sido ubicadas en la primera de esas categorías y que ha sido descrita en párrafos anteriores. La categoría *No representa la célula* tiene menor grado de complejidad y se han establecido tan solo tres categorías, siendo una de ellas *Otros* debido al muy difícil encaje dentro de otra. Las dos restantes son *Estructuras filiformes que recuerdan el ADN – Estructuras que recuerdan cromosomas metafásicos.*

En las creaciones de los alumnos se observa confusión en aspectos que diferentes autores han detectado. Vemos cromosomas en los que no se ha representado las cromátidas hermanas, como ha observado Brown (1990) y que muchas creaciones manifiestan confusión en la estructura de los cromosomas y su relación con el ADN (Kindfield, 1991; Banet y Ayuso, 2000).

Veamos ahora completa la red sistémica del pretest:



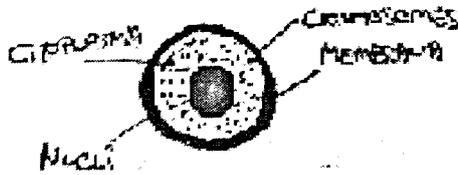
No dibuja

Incongruente

Figura 6.2.2. Red sistémica pretest

A continuación presentamos algunos ejemplos de dibujos elaborados por el alumnado antes de iniciar la instrucción

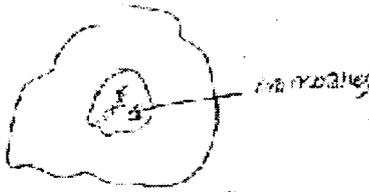
Ejemplos de los grupos Control



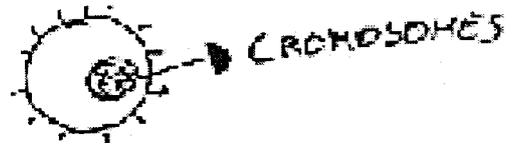
Oscar



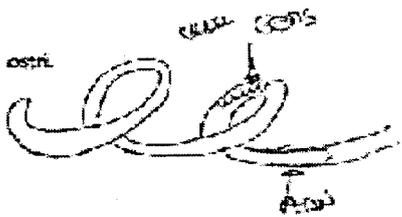
Sandra



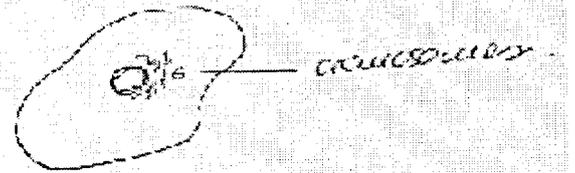
Víctor



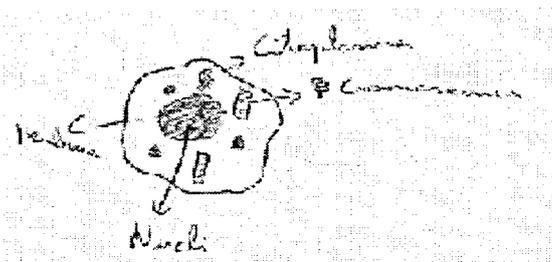
Xavier



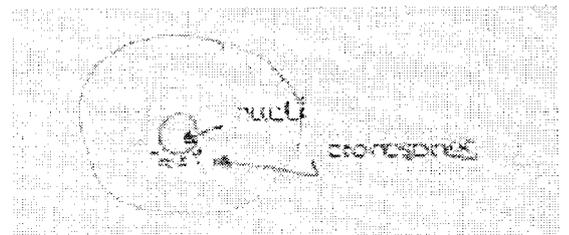
Jeni



Arantxa

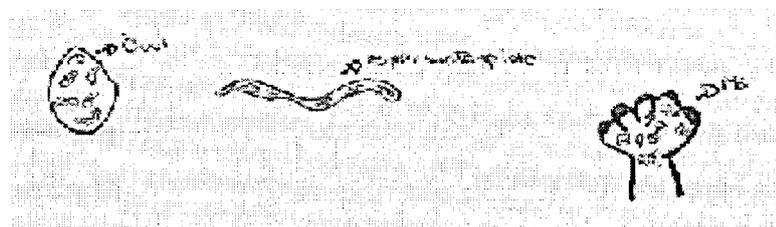
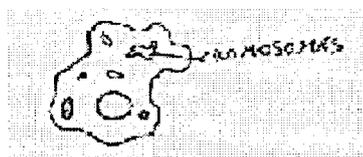
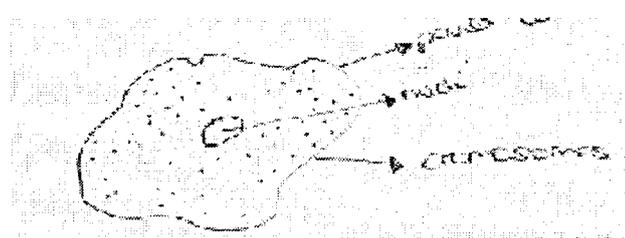
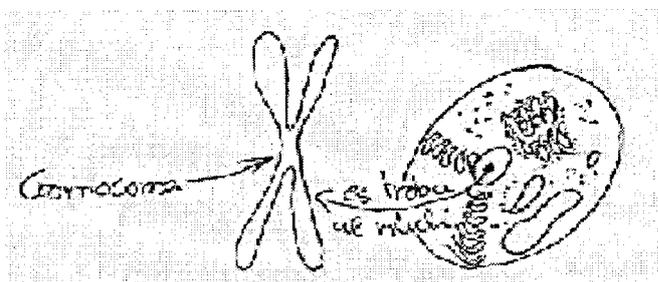
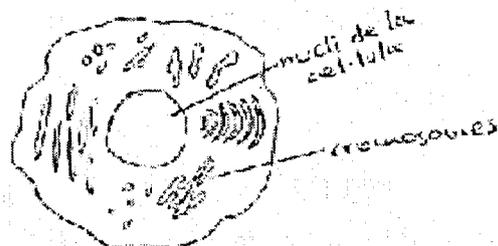
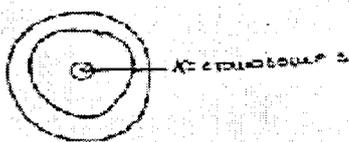
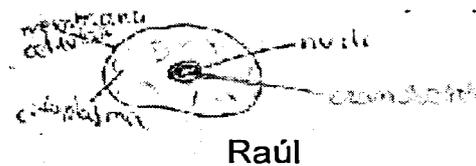
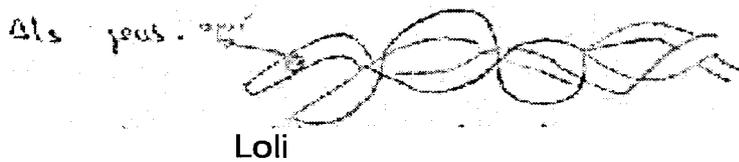


Marcos



Meritxell

Ejemplos de los grupos Experimentales



Joel

Vanessa

6.2.2. Red sistémica postest

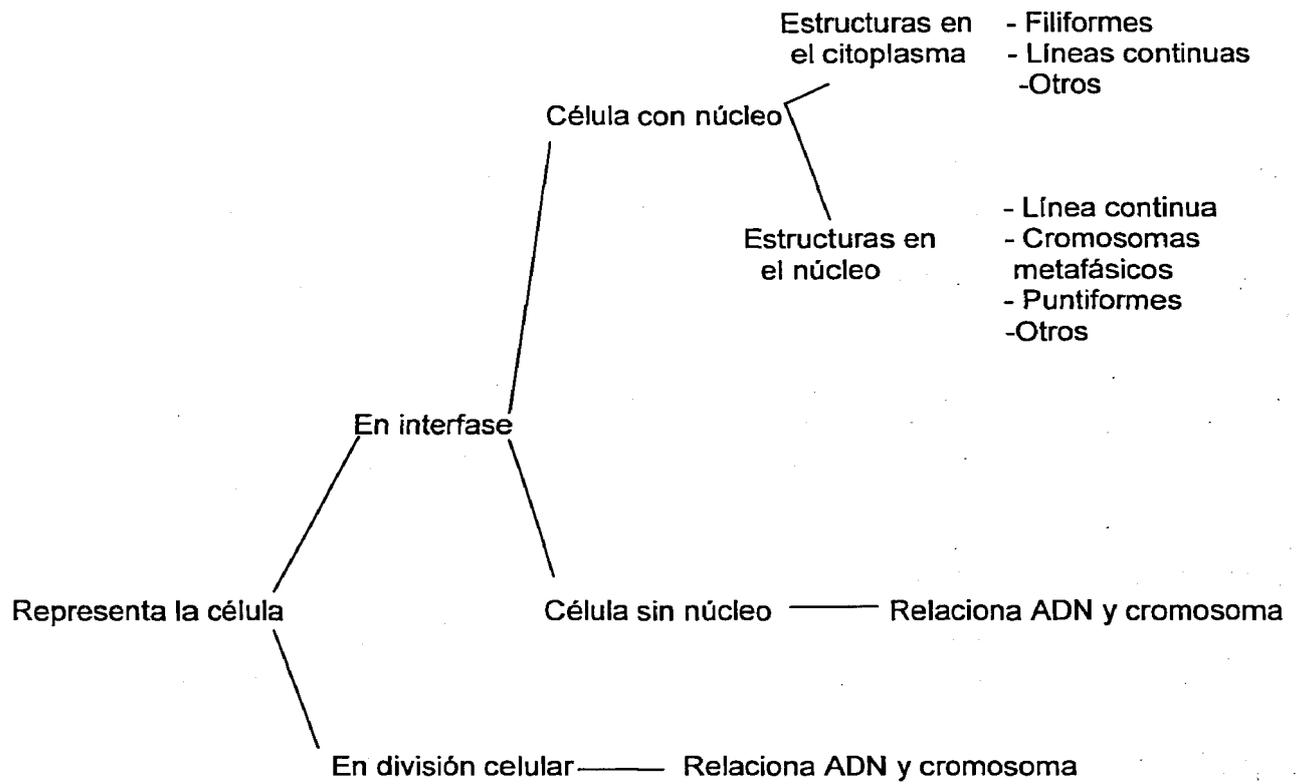
De la misma manera que en el análisis de los dibujos del pretest, intentamos averiguar si existen dos redes sistémicas correspondientes a cada uno de los tratamientos didácticos. En este caso, la discrepancia en las creaciones de los dos grupos eran notables y no se ajustaban a una única red sistémica, por lo que se han formado dos distintas.

Existen diferencias entre las redes experimental y control aunque en los primeros niveles de categorización haya uniformidad. Este primer nivel es: *Representa la célula- No representa la célula* y entre los alumnos que dibujan la célula hemos diferenciado: *En interfase-En división celular*. Este hecho es muy significativo dado que las representaciones que habitualmente se presentan en los textos corresponden a cromosomas metafásicos, únicamente visibles durante la división celular. Desaparece, sin embargo, la categoría *Célula somática-Célula sexual*, ya que todas las representaciones correspondían a células somáticas y no ha sido necesario diferenciar.

A partir de aquí, la complejidad y corrección conceptual de la red sistémica del tratamiento experimental es mayor que la del tratamiento control. En ambos casos se mantienen las categorías generales, pero en los grupos en los que se implementa nuestra propuesta didáctica hay más riqueza de construcciones. En este sentido, se observan bastantes dibujos en los que aparecen cromosomas metafásicos correctamente representados, células en división con los cromosomas bien señalados, y otras estructuras que pueden ser consideradas correctas. Estas creaciones abordan y representan diferentes aspectos de la ubicación de los cromosomas pero todos conceptualmente correctos. Uno de los más representativos es que de la categoría *Célula con núcleo* desaparece la subcategoría *Estructuras en el citoplasma*, que sí se mantiene en la red control.

Esta complejidad y corrección también se ve reflejada en la categoría *En división celular*, ya que las creaciones distinguen dos cromátidas y cromosomas homólogos. La no diferenciación de estas estructuras correctamente es uno de los grandes errores conceptuales que manifiestan los alumnos (Collins y Stewart, 1989; Bahar et al. 1999; Lewis y Wood-Robinson, 2000), incluso en niveles universitarios. El hecho de que los alumnos de los grupos experimentales hayan sido capaces de superar las concepciones erróneas que manifestaban en el pretest y que aún se mantienen los grupos control, nos hace pensar en una mayor eficiencia de nuestra propuesta didáctica.

El proceso de creación de las redes sistémicas postest es el mismo que el descrito anteriormente y a continuación se muestran las dos redes confeccionadas por nosotros.



No dibuja

Incongruente

Figura 6.2.3. Red sistémica posttest control

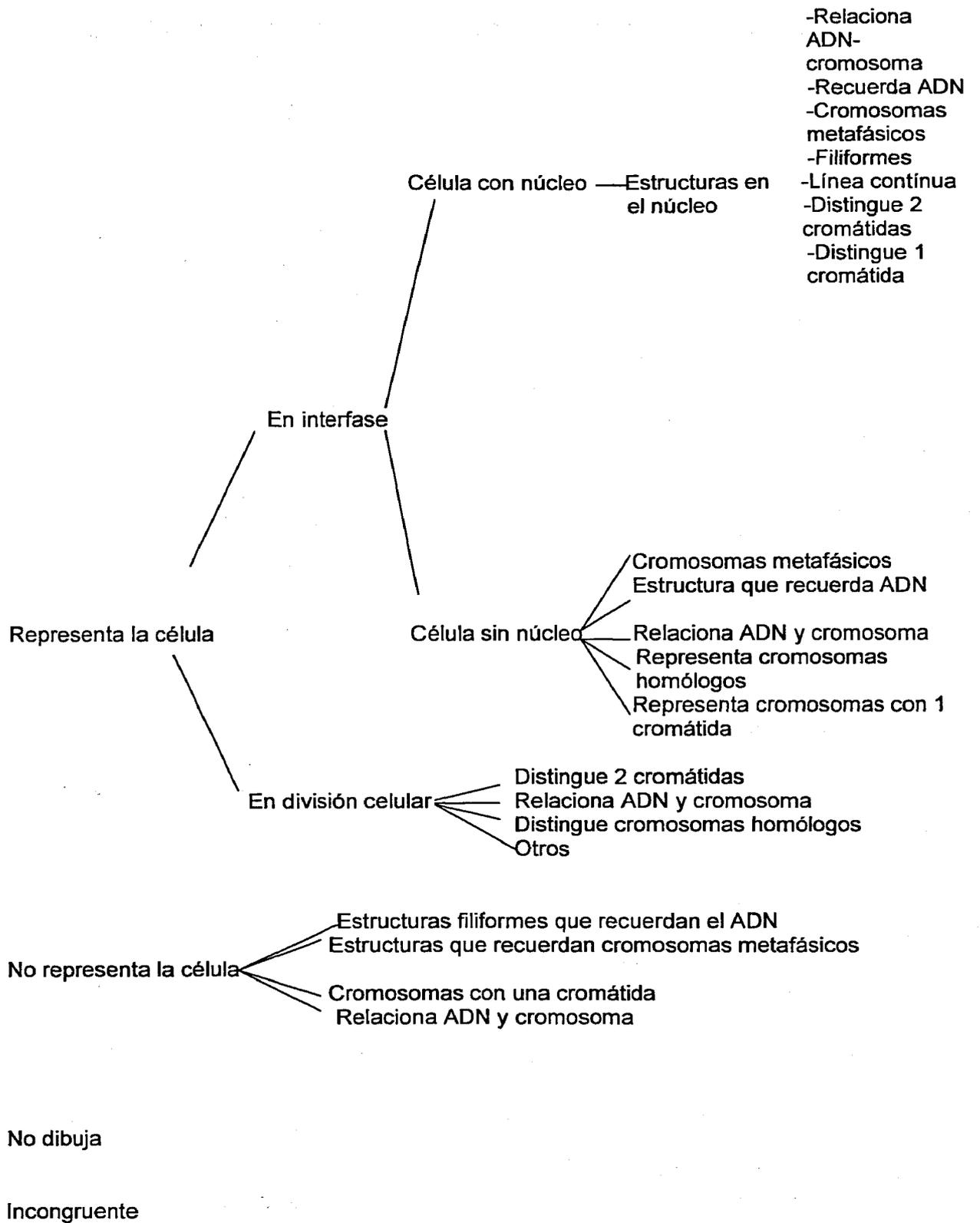
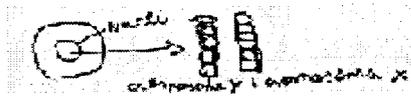


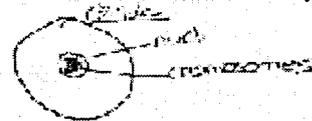
Figura 6.2.4. Red sistémica posttest experimental

A continuación mostramos algunos de los dibujos realizados por el alumnado en el postest.

Ejemplos de los grupos Control



Elisabeth



Rosa María



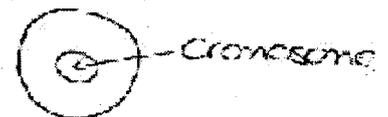
Oscar



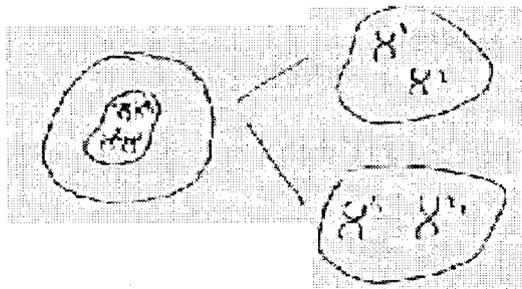
Bea



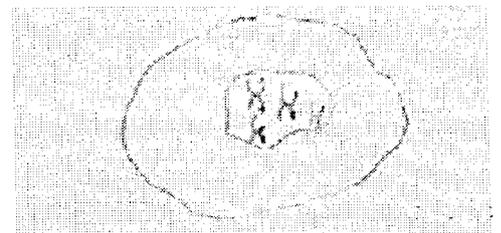
Sandra



Maite

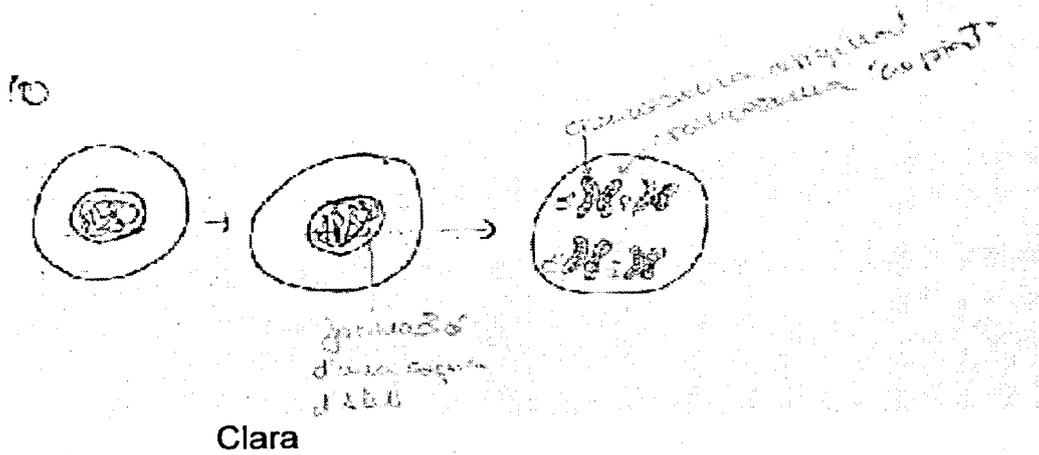


Arantxa

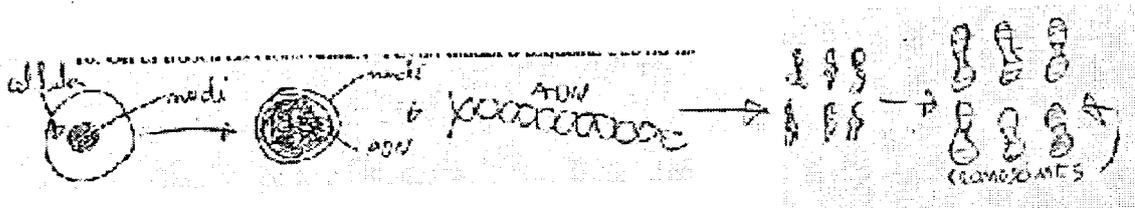


Jessica

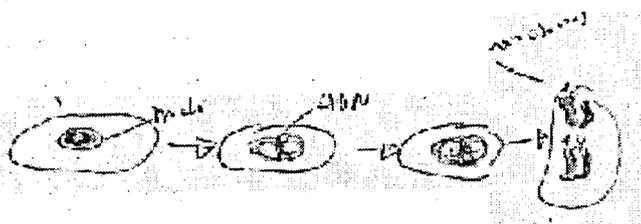
Ejemplos de los grupos Experimentales



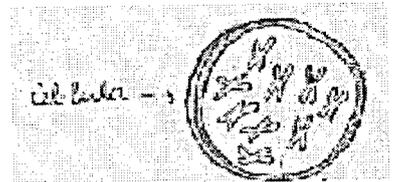
Clara



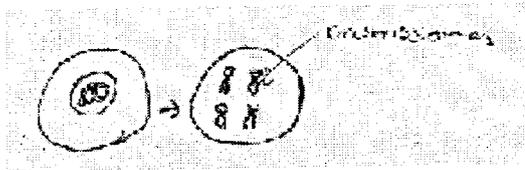
Noel



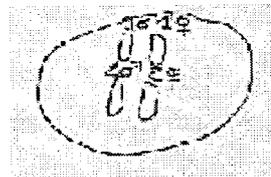
Isabel



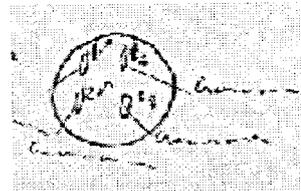
Laia



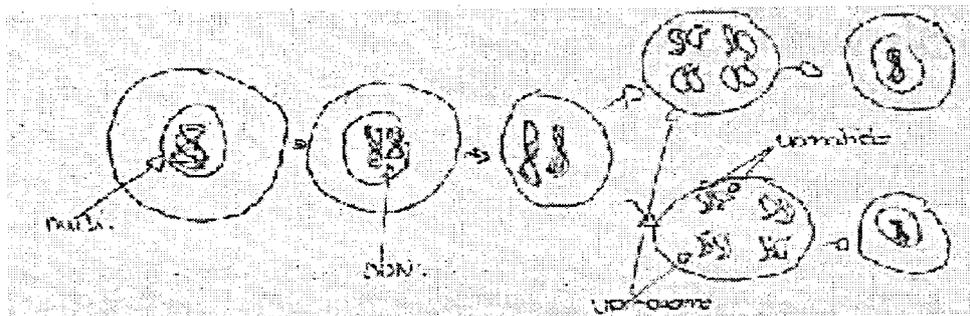
Raúl



Jaume



Omar



Trini

6.2.3. Discusión de las redes sistémicas

1) Cuantificación de las categorías

Para poder tener una aproximación más precisa y que nos permita un tratamiento estadístico más cómodo, hemos cuantificado todas las categorías. Cada una de ellas ha recibido un valor, mayor cuanto más se aproxime al conocimiento científico correcto. Cada dibujo pertenece a diferentes subcategorías y por tanto la suma del valor de cada una de ellas nos dará el valor total asignado a cada uno de los dibujos.

Los valores asignados a cada una de las subclasificaciones son los siguientes:

- 1) Consideramos que el hecho de dibujar ha de valorarse frente a aquellos alumnos que dejan en blanco la respuesta o bien lo hacen de forma incongruente:

Dibuja: 1 punto

No dibuja, Incongruente: 0 puntos

- 2) Dado que interrogamos a los alumnos sobre la ubicación de los cromosomas y éstos se encuentran dentro del compartimento celular, hemos decidido valorar positivamente las respuestas que representan la célula independientemente del tipo que sea. Además, aquellas respuestas en las que aparecen células sexuales, no pueden ser subclasificadas debido a la falta de elementos en las creaciones.

Representa la célula: 1 punto

No representa la célula: 0 puntos

- 3) Hemos diferenciado las respuestas en las que aparecían células con núcleo según si aparecen estructuras en el citoplasma o en el núcleo. Consideramos que es científicamente más correcto situar estructuras en el núcleo.

Célula con núcleo y estructuras en el citoplasma: 0 puntos

Célula con núcleo y estructuras en el núcleo: 1 punto

- 4) Hemos dado un valor de un punto a aquellos dibujos en los que la célula aparece sin núcleo y en división celular. Si hemos de ser rigurosos, los cromosomas únicamente pueden visualizarse durante el proceso de división celular.

Célula sin núcleo y en división celular: 1 punto

- 5) Las últimas subclasificaciones que hemos valorado positivamente son aquellas que se ajustan o se aproximan a la verdadera estructura y

ubicación de los cromosomas. En este caso puede ser que un mismo dibujo reciba más de un punto por este apartado.

Dibuja cromosomas homólogos: 1 punto
Relaciona ADN y cromosoma: 1 punto
Distingue cromosomas hermanas: 1 punto

Por tanto el mayor valor que puede recibir un dibujo es de 6 y para ello debe ajustarse a los siguiente:

Dibuja
Representa la célula
Célula con núcleo y estructuras en el núcleo o bien Célula sin núcleo y en división celular
Dibuja cromosomas homólogos
Relaciona ADN y cromosoma
Distingue cromosomas hermanas

Todos los alumnos tienen una puntuación del 0 al 6 en la pregunta “¿Dónde se encuentran los cromosomas?”, tanto en el cuestionario pretest, como en el postest y el recordatorio. A partir de este valor realizaremos los contrastes estadísticos que se exponen en los apartados siguientes.

2) Formación de las agrupaciones

Antes de discutir los resultados obtenidos, tenemos que comprobar si podemos considerar que todos los grupos de un mismo tratamiento son homogéneos y si no es el caso formar nuevas agrupaciones.

Dado que la respuesta de cada alumno tiene asignado un valor de 0 a 6, es con este índice en el pretest con el que haremos los contrastes para verificar la formación de los grupos. Para ello seguimos utilizando el paquete estadístico SPSS 9.0 para Windows y necesitamos realizar las pruebas de la U de Mann-Whitney o bien de Kruskal-Wallis según se apliquen a dos o a más grupos, respectivamente. Es necesario recordar que, en estadística no paramétrica, en las comparaciones que se hacen comparando 2 grupos a dos, no existen homólogos de las correcciones de Bonferroni o de Chandler de la estadística paramétrica (Zar, 1996). Si se confirma que podemos trabajar con los mismos que anteriormente, procederemos al análisis del impacto educativo de los tratamientos didácticos aplicados.

Agrupación de los grupos control

Comprobamos si existen diferencias significativas entre los grupos control y vemos que no aparecen ($U= 228.5$; $p = 0.604$) por lo que podemos decir que en este caso existe uniformidad en las ideas de los alumnos del tratamiento Control (C) y podemos considerar que forman un único grupo.

Agrupación de los grupos experimental

En primer lugar comprobaremos si los cinco grupos que recibieron el tratamiento experimental pueden considerarse un único bloque, lo que nos indicaría unas concepciones ciertamente homogéneas sobre la ubicación de los cromosomas. En este caso encontramos que sí aparecen diferencias ($\chi^2=19.136$; $p=0.001$) lo cual nos indica que los cinco grupos experimentales no forman una unidad. Vamos a estudiar qué grupos se diferencian del resto para saber si hay posibilidad de agrupar algunos de ellos, aplicando el test de U de Mann-Whitney. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

	E2	E3	E4	E5
E1	U = 77.0 p = 0.071 Diferencias marginales	U = 62.0 p = 0.001 Sí se diferencian	U = 122.0 p = 0.423 No se diferencian	U = 172.0 p = 0.655 No se diferencian
E2		U = 93.5 p = 0.114 No se diferencian	U = 64.0 p = 0.018 Sí se diferencian	U = 110.0 p = 0.111 No se diferencian
E3			U = 53.5 p << 0.001 Sí se diferencian	U = 86.0 p = 0.001 Sí se diferencian
E4				U = 132.0 p = 0.091 No se diferencian

Tabla 6.2.1. Agrupabilidad de los grupos experimentales.

Observando los resultados del test, vemos que hay grupos que no se diferencian entre sí y que podrían agruparse como uno solo. El único caso que podría llevar a discusión sería el de las diferencias entre E1 y E2 cuya probabilidad es de 0.071 y nosotros consideramos marginalmente significativa.

A partir de los valores de la estadística descriptiva obtenidos en el pretest, nos aproximamos al nivel de partida de las nuevas agrupaciones (ver tabla 6.2.2.). Podemos decir que ambas se diferencian en ese nivel de partida que indicaría unas concepciones del alumnado diferentes y que podrían indicar un nivel distinto. Teniendo en cuenta que la mediana en los grupos E2 y E3 es la misma y tiene un valor de 0 y observando que las medianas de E1 es 1, de E4 y E5 es 2, podemos denominar a los dos grupos en función de ese nivel de partida. Además, las nuevas denominaciones de las agrupaciones son coincidentes con las formadas en la cuestión en la que estudiamos las ideas del alumnado sobre la ubicación de los genes (ver apartado 6.3.).

Por tanto las nuevas agrupaciones que se formarían son: E1 + E4 + E5 por un lado y por otro E2 + E3. Hemos comprobado que existe homogeneidad entre dichos grupos y comprobamos que efectivamente no hay diferencias entre E2 + E3 ($\chi^2 = 93.500$ y $p = 0.114$) ni entre E1 + E4 + E5 ($\chi^2 = 2.406$ y $p = 0.300$).

E2 + E3 : Experimental Bajo (EB)

E1 + E4 + E5 : Experimental Medio (EM)

	E1	E2	E3	E4	E5
Mediana	1	0	0	2	2
Percentil 25	0	0	0	0	0
Percentil 75	3	2	0	3	2

Tabla 6.2.2. Estadística descriptiva de los grupos experimentales en el pretest.

6.2.3.1. Diferencias pretest-postest

Para poder valorar si ha existido un cambio en los resultados después de la instrucción comparamos los índices correspondientes a cada modelo de los alumnos en el pretest y en el postest. Nos aparecen diferencias significativas tanto en el tratamiento control como en el experimental, es decir, los modelos creados por los alumnos después de la docencia son significativamente diferentes a los iniciales. En la tabla se observan los valores de la probabilidad del test de Wilcoxon y las medianas.

	Estadístico	p	Mediana		Percentil 25		Percentil 75	
			Pretest	Postest	Pretest	Postest	Pretest	Postest
C	-5.003	<0.001	2	3	0	2	2	4
EM	-6.254	<0.001	2	4	0	3	2	5
EB	-4.762	<0.001	0	3	0	1	0	4

Tabla 6.2.3. Diferencias entre el pretest y el postest en las diferentes agrupaciones.

Analizando las medianas de los tres grupos (Control, Experimental Medio y Experimental Bajo) en las dos fases de estudio observamos discrepancias que nos ayudan a entender las diferencias antes observadas. Hay que recordar que medianas de valor alto reflejan índices de la red elevados en la agrupación y, por tanto, mayor acercamiento a la corrección científica.

Efectivamente, son muy significativas las diferencias en los tres grupos, lo que nos indicaría que la docencia ha supuesto un impacto en el conjunto de alumnos. Por otra parte, si observamos las medianas, vemos diferencias en las dos fases y también en las agrupaciones. Recordemos que un valor alto de la mediana nos acerca al modelo ideal, por tanto en el grupo EM el nivel

alcanzado por el alumnado es algo superior al de los otros grupos. En los grupos C y EB se alcanza un mismo punto, aunque el progreso es muy superior en el grupo con tratamiento didáctico experimental, ya que de un valor 0 se llega al de 3. En el grupo Control de 2 se llega a 3, que puede considerarse positivo, pero que supone un grado de mejora inferior al del Experimental Bajo.

Para acabar de matizar esto hemos averiguado si existían diferencias en el pretest entre los tres tratamientos entre sí y si aparecían posteriormente en el postest. Los resultados se pueden observar en las tablas siguientes:

PRETEST	Experimental Bajo	Experimental Medio
Control	U=447.0 p<0.001 Sí hay diferencias	U=1531.5 p=0.698 No hay diferencias
Experimental Medio	U= 452.5 P<0.001 Sí hay diferencias	

Tabla 6.2.4. Test de U de Mann-Whitney entre las agrupaciones en el pretest

POSTEST	Experimental Bajo	Experimental Medio
Control	U = 758.5 p=0.263 No hay diferencias	U=1041.0 p=0.001 Si hay diferencias
Experimental Medio	U= 473.5 P<0.001 Si hay diferencias	

Tabla 6.2.5. Test de U de Mann-Whitney entre las agrupaciones en el postest

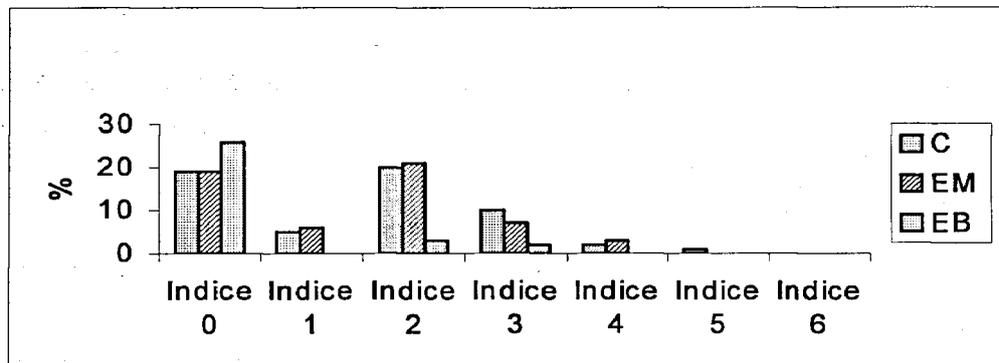
Ya observamos que la mediana en los grupos C y EM era de 2 y en el grupo EB de 0. En el pretest, el test estadístico nos indica que no existen diferencias significativas entre C y EM, mientras que EB se diferencia de los otros dos grupos. Podemos deducir que el nivel de partida del alumnado era análogo en el grupo Control y Experimental Medio y en el tercer grupo era algo inferior.

En el postest ya no se observan esas diferencias entre C y EB, lo que hace pensar que se han salvado las diferencias iniciales y el tratamiento control no ha sido capaz de provocar una mejora lo suficientemente grande como para mantener esas diferencias que tenía a favor en el pretest. Esto se ve confirmado cuando el grupo EM, que es el que *a priori* puede considerarse más directamente comparable con el grupo Control, sí es significativamente

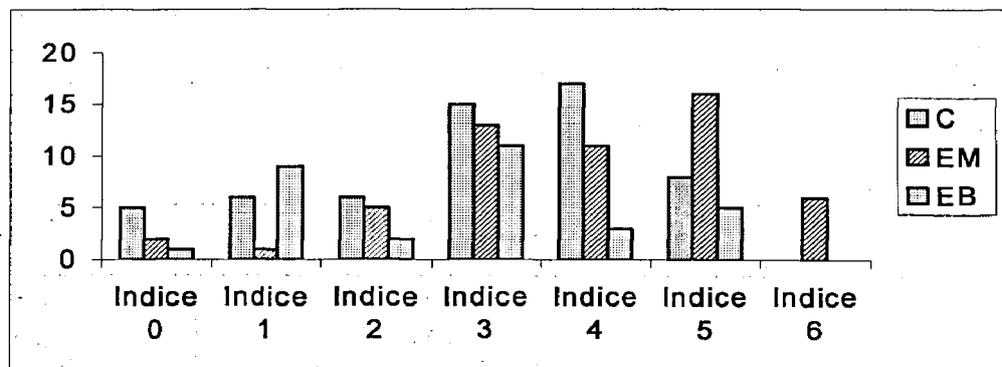
diferente del C en la segunda fase; es decir, que la instrucción del tratamiento experimental ha sido capaz de permitir a los alumnos crear modelos de más complejidad y corrección conceptual. Sin embargo, EM y EB siguen diferenciándose, lo que nos indica que a pesar de la mejora apreciada en EB no ha sido lo suficiente como para llegar al nivel de EM, como nos indica el hecho de que la mediana sea de 4 en el grupo Experimental Medio.

Si tenemos en cuenta que en el pretest, los dos grupos que pueden considerarse más comparables son el Control y Experimental Medio y que en el postest se diferencian significativamente, a favor del Experimental, podemos afirmar que el tratamiento experimental ha sido el responsable de este cambio.

Observando las frecuencias de los diferentes índices de la red sistémica que se presentan en los tratamientos, vemos más claramente las diferencias apreciadas en los test estadísticos. Recordemos que cada una de las creaciones era cuantificada en función de su corrección y rigor científico, obteniéndose un índice mayor cuanto más alto sea el grado de corrección.



Gráfica 6.2.1. Frecuencias de los índices de la red en el pretest en las diferentes agrupaciones



Gráfica 6.2.2. Frecuencias de los índices de la red en el postest en las diferentes agrupaciones

Mientras que en el pretest la mayor parte de los dibujos tenían índices inferiores a tres, en el postest se observa una tendencia a presentar índices de

valor más elevado. Sin embargo es en los grupos experimentales donde hay mayor porcentaje de alumnos con índices altos, destacando el grupo EM que es el único con creaciones valoradas como índice 6.

6.2.3.2. Diferencias en el recordatorio

La tercera fase de estudio se desarrolla varios meses después de la docencia. Pretendemos valorar el grado de retención del aprendizaje pasado un lapso de tiempo. Dado que las dos primeras fases del estudio se han llevado a cabo en el cuarto curso de la Educación Secundaria Obligatoria, la fase de recordatorio tan solo ha podido realizarse en alumnos que permanecían en el centro estudiando Bachillerato, lo que supone la pérdida de algunos casos. Por esta razón, creemos que este factor pudiera ser determinante a la hora de extraer las conclusiones y por ello no podemos dejar de tenerlo en consideración.

En este caso nos interesa saber si existen diferencias entre el postest y el recordatorio y entre el pretest y el recordatorio. En el primer caso la no existencia de diferencias significativas implicaría que el tratamiento didáctico ha sido eficiente ya que el alumnado habría mantenido un nivel análogo al obtenido inmediatamente después de acabar la docencia. En el segundo caso la no existencia de diferencias nos indicaría que nos encontramos en un nivel similar al del inicio del proceso educativo.

En las tablas siguientes aparecen los resultados de los análisis, a partir del test de Wilcoxon.

	POSTEST-RECORDA			PRETEST-RECORDA		
	Estadístico	p	¿Hay diferencias?	Estadístico	p	¿Hay diferencias?
Control	-1.172	0.241	NO	-3.004	0.003	SI
Experimental Medio	-3.849	<0.001	SI	-2.609	0.009	SI
Experimental Bajo	-2.140	0.032	SI	-3.031	0.002	SI

Tabla 6.2.6. Diferencias en los grupos en las diferentes fases de investigación.

DIFERENCIAS ENTRE GRUPOS EN EL RECORDATORIO	Experimental Bajo	Experimental Medio
Control	U=222.5 p=0.112 No hay diferencias	U=366.0 p=0.717 No hay diferencias
Experimental Medio	U=297.5 p=0.197 No hay diferencias	

Tabla 6.2.7. Diferencias observadas entre las diferentes agrupaciones en el Recordatorio.

Podemos observar que en los tres tratamientos existen diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio. En el grupo Control no hay diferencias entre el posttest y el recordatorio, mientras que sí aparecen en los grupos experimentales. Por otra parte, no difieren ninguna de las tres agrupaciones cuando las comparamos entre sí.

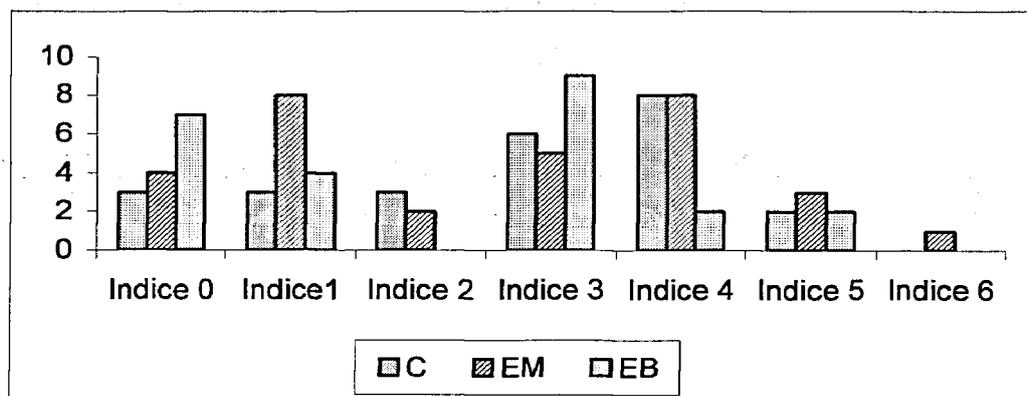
Aunque de los valores obtenidos en los tests estadísticos no parece apreciarse una retención significativa (a excepción del grupo Control, cuyos cuartiles confirman que ha existido retención) vale la pena estudiar con más detalle otras variables que nos puedan facilitar información sobre las tendencias.

Analizaremos ahora la evolución de las medianas y los cuartiles, desde el pretest hasta el recordatorio:

	Mediana			Percentil 25			Percentil 75		
	Pretest	Posttest	Recorda	Pretest	Posttest	Recorda	Pretest	Posttest	Recorda
C	2	3	3	0	2	1.5	2	4	4
EM	2	4	3	0	3	1	2	5	4
EB	0	3	3	0	1	0	0	4	3

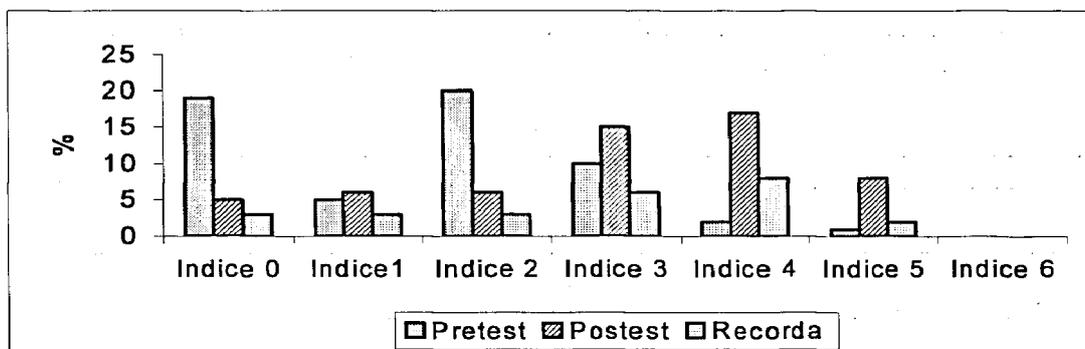
Tabla 6.2.8. Estadística descriptiva de las agrupaciones en las tres fases de la investigación.

Las medianas en el recordatorio son iguales en los tres grupos, habiéndose mantenido en el Control y en el Experimental Bajo. Esta es una razón por la que no aparecen diferencias significativas entre las agrupaciones. Aparentemente, las tres han mantenido o descendido ligeramente (Experimental Medio), pero si observamos detalladamente las frecuencias de los índices referidos a la red sistémica, se aprecian valores superiores en el tratamiento experimental medio. A pesar de la no significación estadística, los resultados son mejores que en el pretest, tal como se observa en las gráficas.

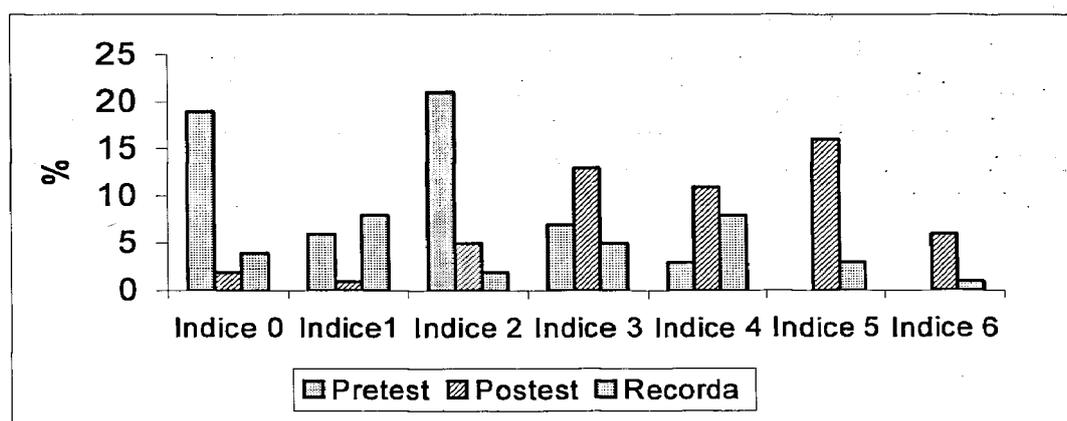


Gráfica 6.2.3. Frecuencia de los valores del índice de la red sistémica en el recordatorio

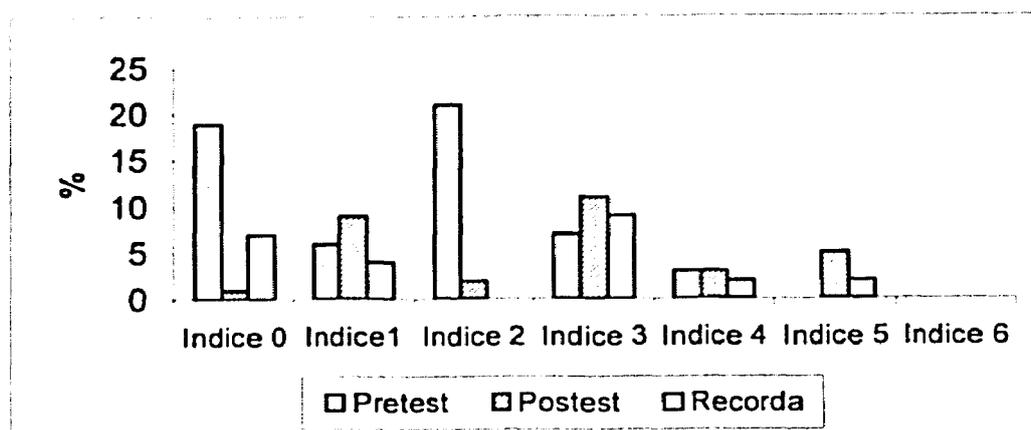
A continuación presentamos gráficamente la evolución de los índices de la red sistémica en las diferentes agrupaciones. En ellas podemos observar la mayor presencia de índices de valor elevado en las agrupaciones experimentales, especialmente en Experimental Bajo, que partía de un nivel similar al Control. El hecho de que la calidad de las creaciones en el postest sea superior en EB y también en EM nos hace pensar en una mayor eficiencia de nuestra propuesta didáctica sobre una metodología más tradicional, aun reconociendo la validez del modelo transmisivo.



Gráfica 6.2.4. Porcentaje de los índices de la red en las diferentes fases de investigación en la agrupación Control.



Gráfica 6.2.5. Porcentaje de los índices de la red en las diferentes fases de investigación en la agrupación Experimental Medio.



Gráfica 6.2.6. Porcentaje de los índices de la red en las diferentes fases de la investigación en la agrupación Experimental Bajo

6.2.4. Modelos de evolución del aprendizaje

En la tabla 6.2.9. aparecen los 6 modelos que hemos definido en el análisis de las concepciones del alumnado sobre la localización de los cromosomas.

MODELO	Evolución Pretest-Postest	Evolución Postest-Recordatorio	Valoración
1	Índice mejora	Índice mejora	6 (Modelo óptimo)
2	Índice mejora	Índice se mantiene	5
3	Índice mejora	Índice empeora	4
4	Índice se mantiene	Índice mejora	3
5	Índice se mantiene	Índice se mantiene	2
6	Índice se mantiene	Índice empeora	1

Tabla 6.2.9. Modelos de evolución del aprendizaje.

6.2.4.1. Análisis estadístico de los modelos de evolución del aprendizaje

Si existen diferencias en el rendimiento académico de los alumnos en función del tratamiento didáctico al que hayan sido sometidos, habrá modelos distintos. Nos interesa ahora ensayar estadísticamente si esas diferencias son significativas y en qué sentido se dirige la discrepancia.

Realizamos el test de Kruskal-Wallis para determinar si existen diferencias o no entre los tres grupos, Control, Experimental Medio y Experimental Bajo y vemos que no aparecen ($\chi^2=1.719$; 2 grados de libertad; $p=0.423$).

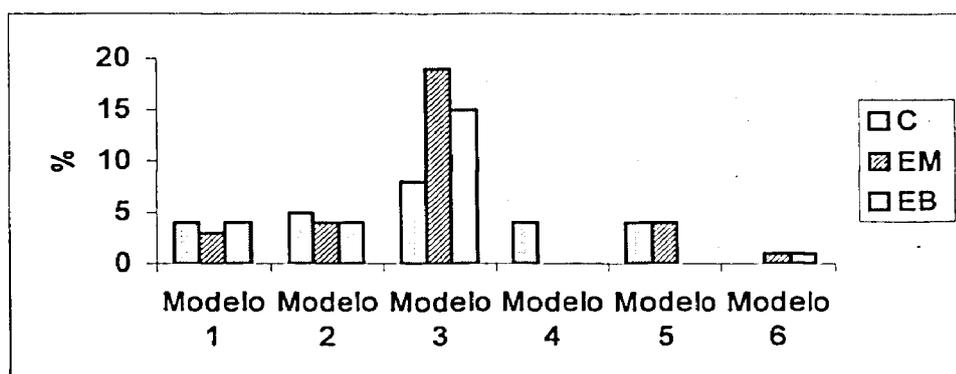
En principio, esto nos lleva a pensar en la igual eficiencia de ambos tratamientos didácticos o al menos que los modelos se presentan en las

agrupaciones de manera que no provocan diferencias significativas. Por tanto, conviene analizar más detalladamente cada uno de los grupos con el fin de estudiar la distribución de los modelos de evolución de aprendizaje.

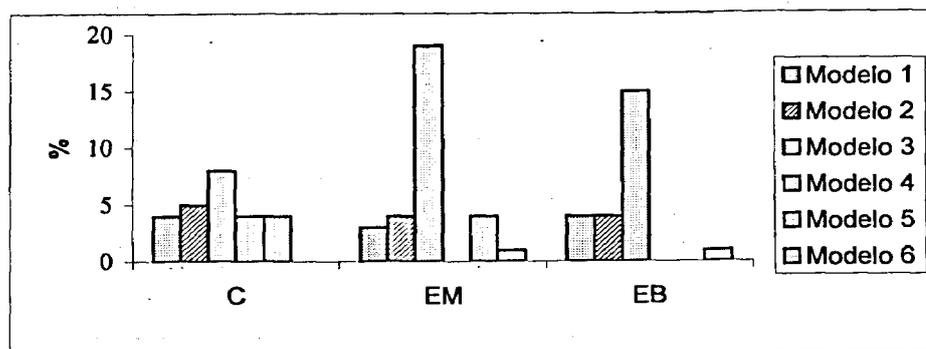
6.2.4.2. Presencia de los modelos en los grupos

En el tratamiento Control hay una cierta constancia en la presencia de modelos, destacando el número 3 aunque no de forma significativa. Observamos también que modelos no deseables, como el 4 o el 5 son relativamente abundantes. Sin embargo, en los grupos experimentales, no se produce esta constancia en la presentación de modelos de evolución del aprendizaje. En primer lugar hay que destacar que el modelo 3 es el más abundante con mucha diferencia respecto de los demás. Por otra parte, los modelos menos deseables también se presentan pero son mucho menos frecuentes que en el grupo Control.

Efectivamente, el modelo 3 es el más frecuente en los tres tratamientos, aunque la frecuencia sea superior en los grupos experimentales. Este modelo no es el más deseable, ya que los modelos ideales serían el 1 y el 2, siendo el modelo 3 el siguiente. Es importante que sean los modelos 4, 5 y 6, es decir en los que no se observa mejora en el aprendizaje, los menos abundantes. De hecho, en los grupos control el 32% de los modelos son no deseables, mientras que en los experimentales es el 10.8%.



Gráfica 6.2.7. Porcentaje de los modelos evolutivos del aprendizaje en en las diferentes agrupaciones.



Gráfica 6.2.8. Porcentaje de los modelos de aprendizaje en las diferentes agrupaciones.

6.2.5. Análisis de las creaciones del alumnado

En los apartados anteriores hemos analizado de manera global el conjunto de la red sistémica y hemos observado algunas diferencias en los dos tratamientos didácticos. Ahora realizaremos un estudio más pormenorizado de las creaciones del alumnado, analizando las categorías establecidas en las redes sistémicas. Abordaremos este análisis desde una perspectiva cualitativa y cuantitativa, esta última utilizando las tablas de contingencia y el test de ji-cuadrado.

Categoría *Dibuja - No dibuja*

En el pretest son muchos los alumnos que no han dibujado nada, tanto en el grupo control como en los experimentales siendo una posible razón la necesidad de poseer unos prerrequisitos conceptuales no existentes en el alumnado antes de iniciarse la docencia. El porcentaje de alumnos que no dibujan nada es espectacular en el grupo Experimental Bajo, donde sólo hay un 16.13% de dibujos, mientras que en el grupo Control y Experimental Medio hay un porcentaje mayor de alumnos que muestran sus concepciones, un 70.17% y un 67.86% respectivamente. Atribuimos el bajo número de creaciones a que el alumnado no tenía ningún tipo de información sobre aquello que se le pedía que contestara. En este sentido, no podemos hablar de concepciones alternativas (Driver et al., 1989), ya que el alumnado sencillamente, carece de ideas acerca de lo que se le ha interrogado.

En el postest se ha producido un incremento notable de alumnos que sí han dibujado, destacando los grupos experimentales, donde se produce un incremento del 28.6% en EM y del 80.6% en EB, mientras que en el grupo C es del 21%.

En el recordatorio se produce un descenso en el número de alumnos que dibujan respecto del postest, pero en los tres grupos hay más alumnos que dibujan de los que lo hacían en el pretest.

	Pretest		Postest		Recordatorio	
	n	%	n	%	n	%
Experimental Medio	38	67.86	54	96.43	27	87.10
Experimental Bajo	5	16.13	30	96.77	16	69.50
Control	40	70.17	52	91.22	22	88.0

Tabla 6.2.10. Frecuencia absoluta y porcentaje de alumnos que dibujan en las diferentes agrupaciones.

Hemos realizado el test de ji-cuadrado para comprobar si aparecen diferencias significativas entre las agrupaciones en cada momento de la investigación y efectivamente existen tales diferencias ($\chi^2= 12.023$, $p = 0.0172$). Se ha comentado anteriormente que el incremento notable entre el pretest y el postest se da en los grupos experimentales y creemos que esta puede ser una razón, ya que en el postest los tres grupos se homogenizan y en el recordatorio las diferencias entre las agrupaciones no son tan notables.

Se ha comprobado si la hipótesis que hemos señalado en el párrafo anterior era o no cierta realizando el test de la ji-cuadrado por separado entre el pretest y el postest y entre el postest y el recordatorio. Se confirma que las diferencias son debidas al incremento de respuestas dibujadas en el postest por parte de los grupos experimentales:

Los valores de los dos contrastes son los siguientes:

Pretest-Postest: ($\chi^2= 9.962$, $p <<0.001$)

Postest-Recordatorio: ($\chi^2= 0.392$, $p = 0.8219$)

Categoría Representa la célula – No Representa la célula

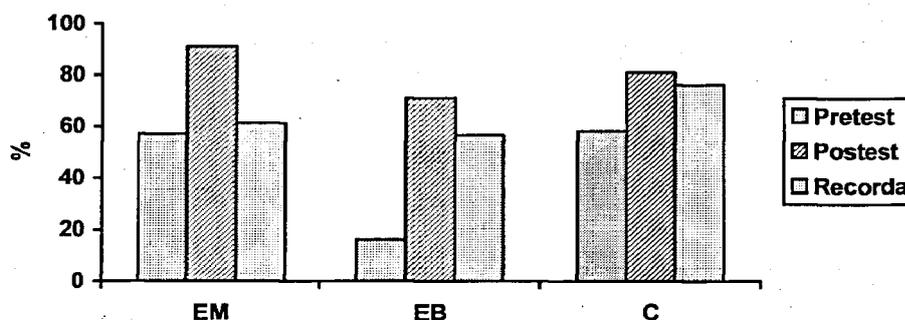
En el pretest existen diferencias significativas entre los tres grupos ($\chi^2=16.691$; $p<<0.01$), en el sentido de que el grupo EB difiere mucho de los otros dos. Mientras que en dicho grupo tan solo el 16.12 % de los dibujos muestran la célula, en EM y en C lo hacen el 57 % .

Esas diferencias observadas se mantienen también en el postest, donde se aprecia un incremento notable de alumnos del grupo EM que dibuja la célula (91.07%). Sin embargo, el grupo C, que era prácticamente igual antes de la docencia, ahora no alcanza los niveles del mencionado grupo (80.70%). Sin embargo, en el grupo EB, se ha producido la mejora más espectacular, pasando al 70.96%, que aun no siendo un valor tan alto como el de las otras dos agrupaciones, el incremento del 54.84% nos hace pensar en la eficacia de

nuestra propuesta didáctica. Teniendo en cuenta que los grupos Control y Experimental Bajo partían de un nivel similar, incluso algo superior el Control, es importante para la confirmación de nuestra propuesta didáctica que en el postest se produzcan tales diferencias. Si partiendo de niveles comparables se llegan a diferenciar tanto en el postest, la única variable que puede justificar este desigual impacto de la docencia es la metodología utilizada.

En el recordatorio se produce un descenso respecto del postest, pero siempre con resultados mejores que en el pretest. En este caso, es el grupo control el que presenta un porcentaje más alto de alumnos que dibujan la célula.

Creemos conveniente recordar que uno de los errores conceptuales en biología celular consiste en considerar que los animales son los principales poseedores de células. Muchos alumnos creen que las plantas, hongos o bien especies menos cercanas a ellos carecen de células, tal y como revelan estudios como los de Caballer y Jiménez (1992), Banet y Ayuso (1995) y Wood-Robinson et al. (1998). En nuestro caso consideramos más correcto dibujar una célula y representar en ella la estructura de los cromosomas, por lo que es probable que los alumnos que no hayan dibujado la célula, duden de su existencia en los humanos. De hecho, en el estudio referido anteriormente de Banet y Ayuso (1995) aparece un porcentaje importante de alumnos que consideran que los humanos no tenemos cromosomas.



Gráfica 6.2.9. Porcentaje de respuestas que representan la célula en las diferentes agrupaciones en cada fase de la investigación

Categoría *Representa célula con núcleo – Representa célula sin núcleo*

La categoría *Representa célula con núcleo* se ha subclasificado en *Estructuras en el núcleo – Estructuras en el citoplasma*. En sentido estricto, estas dos categorías no pueden considerarse totalmente correctas, ya que cuando los cromosomas se hacen visibles al microscopio la membrana nuclear ha desaparecido. En todo caso, ubicar los cromosomas en el núcleo es lo más próximo a la verdad, dada la relación estructural y funcional entre la molécula de ADN y los cromosomas. Por tanto, los alumnos que dibujan estructuras en el núcleo presentan la concepción de que el núcleo celular es portador de alguna molécula con información hereditaria. Ahora bien, dibujar células sin núcleo que contengan estructuras dibujadas en su citoplasma puede indicar

una relación de la ubicación de los cromosomas con el proceso de división celular. En tal caso no podemos asegurar que se trate de concepciones erróneas y habría que continuar analizando la creación del alumno para comprobar qué tipo de estructura nos muestra.

Resultados similares han sido obtenidos por Banet y Ayuso (1995) en un estudio en el que pretendían conocer dónde situaban los cromosomas alumnos de educación secundaria. En dicho trabajo, la mayor parte de los alumnos sitúan los cromosomas en el núcleo (41.3%) por un 28.3% que los sitúan en el citoplasma.

Por tanto, tenemos tres categorías a analizar en este apartado:

Célula con núcleo y estructura en el núcleo

Célula con núcleo y estructura en el citoplasma

Célula sin núcleo

En el pretest no hay diferencias significativas entre los tres grupos ($\chi^2=4.669$; $p=0.3230$), observándose que la mayoría de creaciones presenta núcleo. En los grupos experimentales hay un mayor número de dibujos con estructuras en el citoplasma, especialmente en EM, mientras que en el grupo Control hay tantos dibujos con estructuras en el núcleo como en el citoplasma.

En el postest se ha producido un descenso de creaciones que pertenecen a la subcategoría *Estructuras en el citoplasma* y un incremento de las categorías *Estructuras en el núcleo* y en el grupo EM *Células sin núcleo*. Este incremento de creaciones conceptualmente más correctas es especialmente notable en el grupo Experimental Bajo, donde se pasa de un 3.22% al 38.71% de dibujos que dibujan la célula y estructuras en el núcleo.

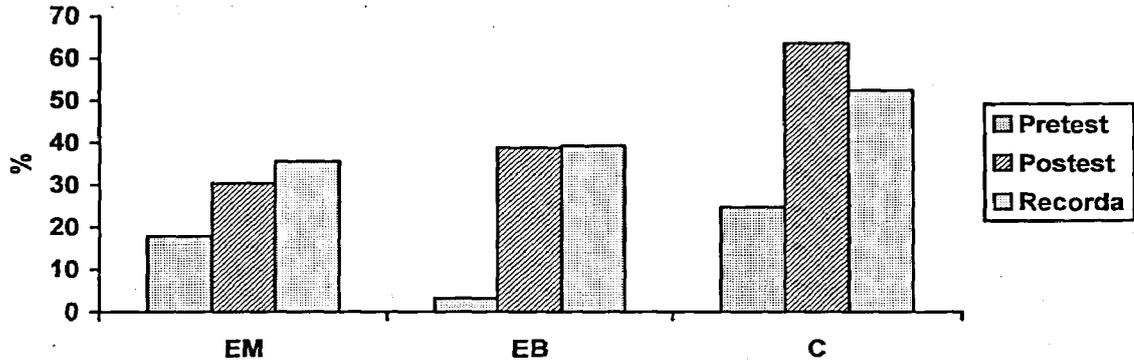
Observando las creaciones desde el pretest al recordatorio, es en los grupos Experimentales donde se produce siempre una evolución positiva, es decir, en cada fase de investigación hay mayor porcentaje de respuestas de la categoría *Célula con núcleo y estructura en el núcleo*. Por el contrario, en el grupo Control se produce la situación inversa, es decir, hay un descenso de alumnos que dibujan correctamente en cada fase de la investigación. A pesar de este comportamiento opuesto, no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\chi^2=0.901$; $p=0.924$).

En la tabla 6.2.11 se muestran los porcentajes correspondientes a este apartado (sobre el total de alumnos del grupo):

%	<i>Célula con núcleo y estructura en núcleo</i>			<i>Célula con núcleo y estructura en citoplasma</i>			<i>Célula sin núcleo</i>		
	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda
EM	17.86	30.36	35.48	33.93	7.14	3.22	1.78	30.36	6.45
EB	3.22	38.71	39.13	9.68	3.22	0	3.22	9.68	8.69
C	24.56	63.15	52.00	24.56	5.26	4.00	1.75	3.51	4.00

Tabla 6.2.11. Porcentaje de creaciones en función de si han dibujado o no núcleo (sobre el total de dibujos)

De entre las tres categorías que aparecen en la tabla la que es absolutamente incorrecta sería la que dibuja *Célula con núcleo y estructura en el citoplasma*. De entre las otras dos, en función de los detalles que aparecen en el dibujo y que entran dentro de otras subcategorías descritas en la red sistémica, podemos determinar su corrección. Si dibuja una *Célula sin núcleo* y nos presenta cromosomas metafásicos en los que pueda diferenciarse las cromátidas, nos indica que entiende la relación entre ADN y cromosoma y los procesos de división celular. Por otra parte, dibujar una *Célula con núcleo y estructura en el núcleo* puede ser considerada incorrecta si no se establece relación entre ADN y cromosoma. Dado que implica una mayor conocimiento de la estructura celular y del material hereditario, así como de los procesos de división celular estudiados, nosotros nos inclinamos por asignar la máxima corrección a la categoría *Célula sin núcleo*.

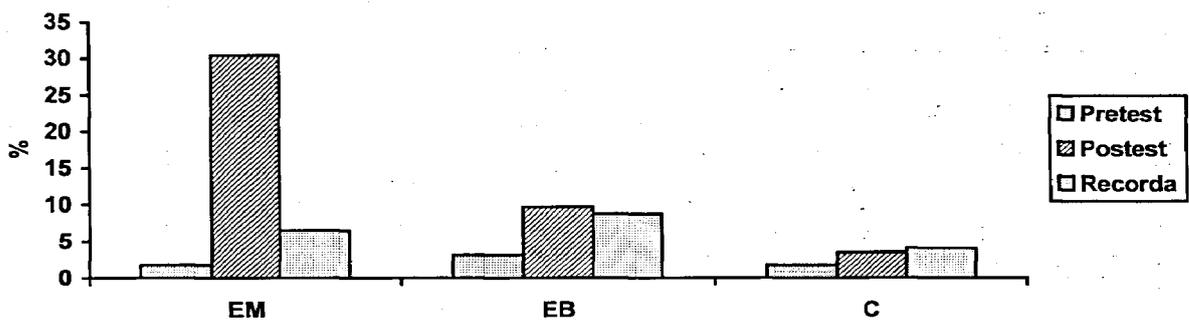


Gráfica 6.2.10. Porcentaje de respuestas de la categoría *Célula con núcleo y estructura en el núcleo*

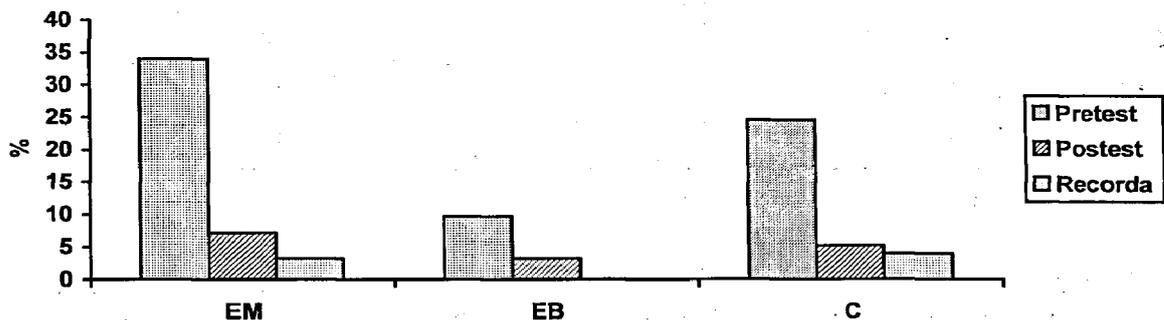
Aparentemente el resultado obtenido podría indicar una mejora en el postest en el grupo Control superior a los experimentales. Sin embargo, en C se produce un retroceso en el recordatorio no visible en EM ni EB, aunque continúa presentando porcentajes superiores a los grupos experimentales. Hay que destacar que en el pretest, el grupo Control ya partía de un 24.56 % de dibujos de la categoría más correcta, mientras que en EM era del 17.86% y en EB un 3.22%. Otra razón por la que se produce un incremento mayor de dibujos clasificados en la categoría *Célula con núcleo y estructura en el núcleo* en los grupos control que en los grupos experimentales es porque en estos últimos los

alumnos nos presentan otras creaciones conceptualmente más correctas y clasificadas en otras categorías que posteriormente analizaremos.

Es importante destacar el porcentaje tan alto de alumnos del grupo EM (30.36%) que dibuja *Células sin núcleo* en el postest. En el pretest no se observan diferencias significativas, ya que presentan la misma frecuencia las tres agrupaciones. Consideramos que esto es debido al impacto educativo del tratamiento experimental ya que la mayoría de estas creaciones pueden ser clasificadas en otras subcategorías conceptualmente correctas que posteriormente analizaremos y relacionadas con la comprensión de los procesos de división celular. Efectivamente, en el grupo EB el porcentaje es inferior (9.68%), pero en cualquier caso superior al del grupo C (3.51%).



Gráfica 6.2.11. Porcentaje de alumnos que dibujan *Célula sin núcleo*



Gráfica 6.2.12. Porcentaje de alumnos que dibujan *Células con núcleo y estructuras en el citoplasma*

Consideramos que la presencia de creaciones que dibujen células sin núcleo y representen estructuras que definen como cromosomas y que además aparezcan de forma conceptualmente correcta, significa una superación de los errores que han sido detectados por nosotros y por otros autores (Kindfield, 1991; Banet y Ayuso, 2000). Este tipo de dibujos indica una comprensión de la naturaleza del material hereditario más profunda, ya que es capaz de relacionar la estructura del ADN con la de los cromosomas y por tanto el proceso de división celular, que estudiaremos en el apartado siguiente. La mayor parte de

los alumnos que hacen este tipo de representación pertenecen a grupos experimentales, lo que vendría a validar la propuesta didáctica experimental.

Categoría *División celular*

Esta categoría podemos considerarla conceptualmente correcta siempre que se incluyan estructuras que nos recuerden o que expresamente hayan sido señalados como cromosomas. Durante la instrucción se trabajó el mecanismo de la división celular, tanto de la mitosis como de la meiosis, especialmente el significado biológico de dichos procesos a través de nuestros modelos tridimensionales. Por tanto, aquellas creaciones que muestren una célula en división celular, sin núcleo y con estructuras indicadas como cromosomas, pueden ser consideradas conceptualmente correctas. La confusión existente sobre este proceso biológico es bien conocida (Collins y Stewart, 1989; Stewart y Dale, 1989) y nosotros hemos abordado su aprendizaje a partir de las propuestas de los estudios en didáctica de la genética. Nos hemos centrado en el estudio de su significado biológico, en la comprensión de cómo se reorganiza el material hereditario (Longden, 1982) y no tanto en sus fases. También hemos usado los modelos descritos en el capítulo 6, de la misma manera que proponen otros investigadores (Schanker, 1999; Smith y Kindfield, 1999; Clark y Mathis, 2000).

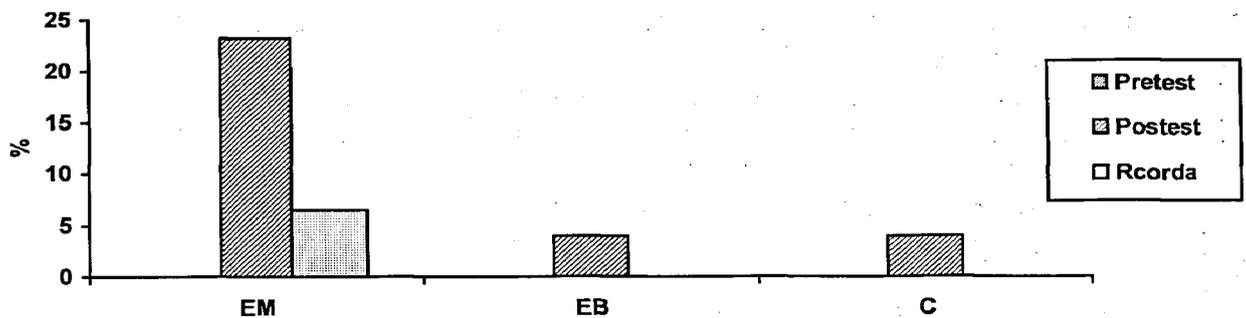
En el pretest no hay ningún dibujo que pudiera ser clasificado en esta categoría, debido a la necesidad de prerrequisitos conceptuales, ausentes en el alumnado.

En el postest sí aparecen dibujos con células en división celular, especialmente en el grupo Experimental Medio. Sin embargo, en el Experimental Bajo y en el Control no son tan frecuentes y apenas suponen un 3.51% y un 4% respectivamente.

Hacer un dibujo donde se muestre la división celular e intentar representar los cromosomas implica un alto grado de comprensión de la naturaleza y estructura del material hereditario. Supone conocer la relación entre ADN y cromosoma, saber distinguir cromátidas hermanas, diferenciar cromosomas homólogos y conocer las fases del ciclo celular. Por todo ello podemos considerarla como una respuesta con un alto nivel de corrección conceptual. Pasar de la no representación en el pretest al 23.21% en el postest en el grupo EM nos hace pensar que nuestra unidad didáctica ha sido útil en este aspecto, mucho más cuando los resultados del apartado siguiente refuerzan esta idea.

Coincidimos con Lewis y Wood-Robinson (2000) en que existe una gran confusión entre el alumnado sobre la mitosis, su significación y el papel de los cromosomas durante el proceso de división celular. No obstante, vemos que algunos de los problemas detectados por dichos investigadores y otros (Hackling y Treagust, 1984; Stewart y Dale, 1989; Smith y Kindfield, 1999; Banet y Ayuso, 1998), han podido ser superados en algunos alumnos de las agrupaciones en las que se ha aplicado la metodología experimental, aunque no en todos.

Sin embargo, en el recordatorio no se mantienen como cabría esperar los resultados obtenidos en el postest, apareciendo la división celular en EM en el 6.45% de los casos.



Gráfica 6.2.13. Porcentaje de alumnos que dibujan células en división celular

Conocimiento de la estructura de los cromosomas

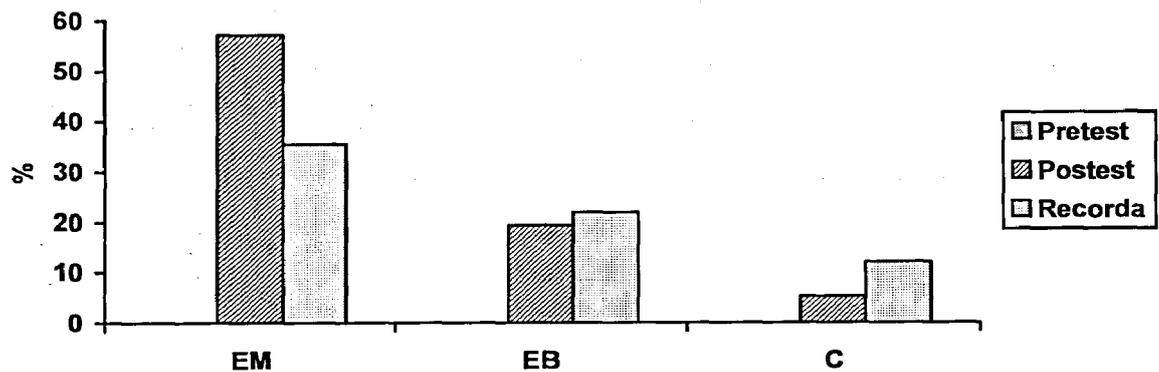
Las últimas categorías de la red sistémica hace referencia a la calidad de las estructuras que se presentan en la células dibujadas por el alumnado y que hacen referencia al aspecto y ubicación de tales estructuras. En este apartado incluimos aquellas creaciones donde aparecen de manera correcta *cromosomas homólogos, cromátidas hermanas* y se establece una adecuada *relación del ADN con los cromosomas*. La aparición de todos o alguno de estos elementos supone un conocimiento de la estructura y ubicación de los cromosomas que podemos considerar óptimo.

En el pretest no había ninguna referencia a las estructuras antes mencionadas ni a ningún otro concepto que indique conocimiento de la estructura del material hereditario y que nosotros establecimos como categorías secundarias en la red sistémica. Estas categorías secundarias son importantes porque hay alumnos que han realizado dibujos categorizables en *Representa la célula con núcleo - Estructuras en el citoplasma* también muestran las estructuras indicadas en el párrafo anterior, siendo más frecuentes en los grupos experimentales.

Estos resultados coinciden con la de otros estudios que revelan un alto nivel de confusión en el conocimiento de la estructura de los cromosomas (Longden, 1982; Hackling y Treagust, 1984; Collins y Stewart, 1989; Kindfield, 1991; Banet y Ayuso, 2000). Se produce la confusión entre cromosomas homólogos, no se tiene claro el concepto de cromátida y la relación entre ADN y cromosoma es confusa.

En el postest se observa un porcentaje tan alto de aparición de las estructuras cromosómicas señaladas en los grupos experimentales que llegan a ser estadísticamente significativas con respecto al grupo control ($\chi^2=42.274$; $p<<0.001$).

En el recordatorio se produce una diferencia marginalmente significativa entre los grupos ($\chi^2=5.898$; $p=0.052$). Se produce un descenso en el grupo EM, aunque los valores siguen siendo bastante superiores a los de EB y especialmente de C, mientras que en el grupo EB y C hay un incremento respecto del postest.



Gráfica 6.2.14. Porcentaje de alumnos que dibujan cromosomas homólogos, distinguen cromátidas y relacionan ADN y cromosomas

Como se dijo en el apartado anterior, en las creaciones clasificadas dentro de la categoría *Células en división celular* aparece un número relativamente alto de células con cromosomas metafásicos, que muestran las cromátidas hermanas o relacionan correctamente el ADN con los cromosomas.

Consideramos que la referencia y el dibujo de estas estructuras denota un grado superior de conocimiento y que su presencia puede indicar una transformación de esquemas conceptuales en el alumnado.

Estos datos, considerados en conjunto con los analizados en apartados anteriores, nos hace creer que el tratamiento experimental propuesto por nosotros ha sido más eficaz para conseguir que los alumnos lleguen a situar correctamente los cromosomas en la célula y comprender las estructuras relacionadas que el modelo tradicional de enseñanza-aprendizaje.

6.2.6. Índice de mejora

El valor máximo de la red sistémica es de 6, por lo que la expresión que nos permite calcular el índice de mejora (ver capítulo 5) es la siguiente:

POSTEST - PRETEST

Índice de mejora (IM) =

6 - PRETEST

Es de esperar que si se ha producido un cambio en las concepciones del alumnado, los valores del índice de la red sistémica sean superiores en el postest y por tanto el índice de mejora sea alto.

En primer lugar procederemos a comprobar la normalidad de la variable Índice de Mejora, de la misma manera que en el apartado anterior. Aplicando el test de Lilliefors obtenemos un valor del estadístico de 0.122 y una probabilidad de 0.037, por lo que no sigue una distribución normal y tenemos que aplicar tests no paramétricos para el análisis estadístico.

Aplicando el test de la U de Mann-Whitney podemos determinar si existen diferencias significativas entre los grupos respecto del índice de mejora. Se han obtenido los resultados que se observan en la tabla 6.2.12.

	Experimental Bajo (EB)	Experimental Medio (EM)
Control (C)	U=662.5 P=0.05 Sí hay diferencias marginalmente	U=875.5 P<0.001 Sí hay diferencias
Experimental Medio (EM)	U= 657.5 P=0.059 Sí hay diferencias marginalmente	

Tabla 6.2.12. Diferencias del Índice de Mejora entre las agrupaciones.

Entre el grupo EM y el grupo Control existen diferencias significativas muy altas, es decir, ambos grupos han manifestado diferente respuesta por lo que respecta al índice de mejora. Los dos grupos experimentales entre sí no presentan diferencias significativas, aunque se encuentran cerca del límite de la significación, por lo que podemos considerar que son grupos bastante similares, aunque haya una ligera distancia entre ellos. Ocurre una cosa similar al comparar el grupo EB con el Control, ya que obtenemos un valor de la probabilidad de rechazo de la hipótesis nula de 0.05, es decir, justo el límite de la significación, por lo que consideramos que existen diferencias significativas de forma marginal.

Por tanto, los dos grupos que se diferencian perfectamente y tienen un comportamiento antagónico son Experimental Medio y Control, mientras que el grupo Experimental Bajo se encuentra más próximo a EM, aunque no se diferencia tanto de C como sí sucede con EM.

Analizando las medianas y los cuartiles podremos determinar en qué sentido son las diferencias detectadas.

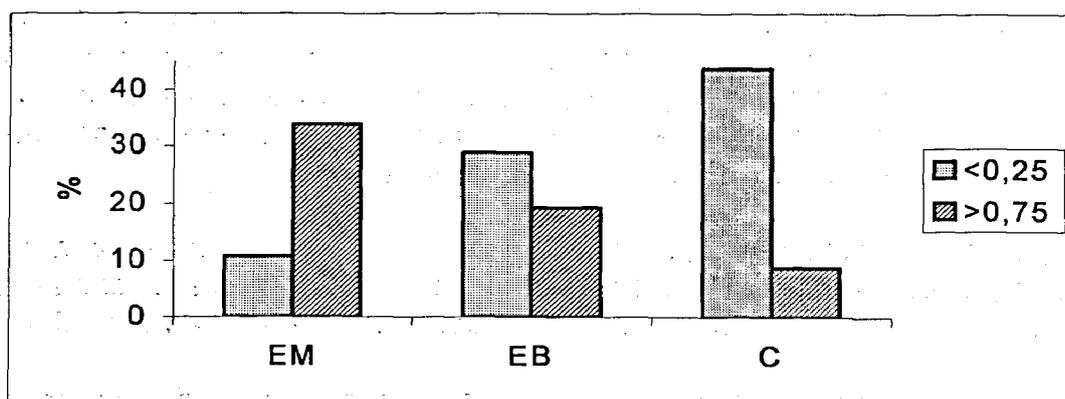
	Percentil 25	Mediana	Percentil 75
C	0	0.33	0.50
EM	0.40	0.55	0.78
EB	0.16	0.50	0.66

Tabla 6.2.13. Estadística descriptiva del Índice de Mejora

La mediana de los dos grupos experimentales es bastante mayor que la del grupo Control, lo que nos indica que los índices de mejora de las agrupaciones EM y EB son superiores a los de la agrupación C. Por tanto, es en los alumnos en los que se ha implementado nuestra propuesta didáctica donde se ha producido un índice de mejora mayor, siendo esto un claro indicador de la mayor eficacia de la secuencia experimental que la control.

Las diferencias estadísticas marginales que se habían detectado al aplicar el test de la U de Mann-Whitney en el grupo EB al compararlo con los otros dos, toman ahora un significado diferente. Cuando tenemos en consideración la estadística descriptiva que hemos mostrado en la tabla 6.2.13., podemos comprobar que el grupo EB se halla mucho más cercano al grupo EM que al C. Las medianas son muy similares y tal vez las diferencias puedan atribuirse a la mayor dispersión existente en los valores de los índices de mejora, tal como muestran los percentiles 25 y 75.

En la gráfica 6.2.15 podemos observar cómo se distribuyen los índices más bajos (menores de 0.25) y los más altos (mayores de 0.75) en las tres agrupaciones.



Gráfica 6.2.15. Distribución de los índices de mejora en las agrupaciones

Podemos observar que la distribución de los índices de mejora peores (<0.25) y los mejores (>0.75) en la agrupación EM es prácticamente simétrica a la de la agrupación C. En el grupo experimental el 33.92% de los alumnos presentan un índice superior a 0.75, mientras que en el grupo control es del 8.77%. El grupo EB se encuentra a medio camino con un 19.35%.

Los alumnos con índice menor de 0.25 son la mayoría en el grupo C, concretamente un 43.85%, mientras que en los grupos EM y EB son el 19.76% y 29% respectivamente.

Podemos concluir que el tratamiento didáctico experimental ha conseguido que gran parte del alumnado modifique sus concepciones sobre la situación de los cromosomas, tal y como demuestra el hecho de que el índice de mejora es mayor en los grupos experimentales, especialmente en el grupo EM, que en el grupo Control.

6.3. FUNCIÓN DE LOS CROMOSOMAS

El estudio de las concepciones de los alumnos sobre la función de los cromosomas y el impacto de las dos estrategias didácticas utilizadas también se ha llevado a cabo a través de la confección de redes sistémicas.

6.3.1. Red sistémica pretest

Se han realizado dos redes sistémicas correspondientes a las dos agrupaciones sometidas a diferente tratamiento didáctico (Control y Experimental). Como puede apreciarse en las figuras 6.3.1 y 6.3.2., estas dos redes difieren especialmente en las últimas subclasificaciones, siendo idénticas en las categorizaciones iniciales.

En primer lugar, las respuestas han sido clasificadas en función de si hacían referencia o no al concepto de *Información*. La razón por la que hemos tomado esta decisión es la concepción existente en el alumnado de que los cromosomas están de una forma u otra ligados a dicho término y es grande el número de respuestas que lo utilizaban. Es corriente usar la expresión información genética o información hereditaria ligada a los cromosomas y los genes, por lo que es fácil relacionar ambos términos.

La respuesta alternativa a aquella que hace referencia a la palabra información es *No información*. En esta categoría entran todas las demás respuestas que jamás utilizan ni hacen referencia aunque sea indirecta al citado término.

También existe un número de alumnos que no han contestado la pregunta, por lo que necesariamente establecemos la categoría *No responde*.

En un segundo nivel de clasificación, las respuestas pueden clasificarse claramente en función del vocabulario y las expresiones utilizadas. Es decir, las respuestas pueden utilizar términos científicos o bien hacer alusión a procesos o mecanismos relacionados con las ciencias biológicas. Nos referimos a términos como núcleo, mitosis, célula y otros. Sin embargo, otro grupo de respuestas no hace ninguna mención a expresiones científicas y por tanto intenta explicar la función de los cromosomas con otro tipo de frases. Por tanto, tenemos dos nuevas categorías: *Científica – No científica*. Las respuestas que hacen referencia a *Información* pueden categorizarse en *Científica- No científica* y las respuestas clasificadas como *No información* también (ver ejemplos en la tabla 6.3.1.).

Un tercer nivel de sistematización corresponde a la corrección de las afirmaciones del alumnado. Nos encontramos con respuestas que hacen referencia al concepto de información y usan expresiones científicas que pueden ser correctas o incorrectas. Lo mismo sucede con las respuestas en las que no se usaba el término información. Por tanto, la categoría *Científica* puede subclasificarse en *Correcta – Incorrecta*. La categoría *No científica* ha sido categorizada en función de si el alumno hacía referencia a un mecanismo o un concepto biológico.

Un cuarto nivel de categorización pretende completar esta red y definir aún más la sistematización de las concepciones que los alumnos tienen sobre la función de los cromosomas. Todas las respuestas hacen referencia o bien a un *Mecanismo* o bien a un *Concepto biológico*. Por esta razón aunque las respuestas sean correctas o incorrectas pueden subclasificarse en esas dos categorías.

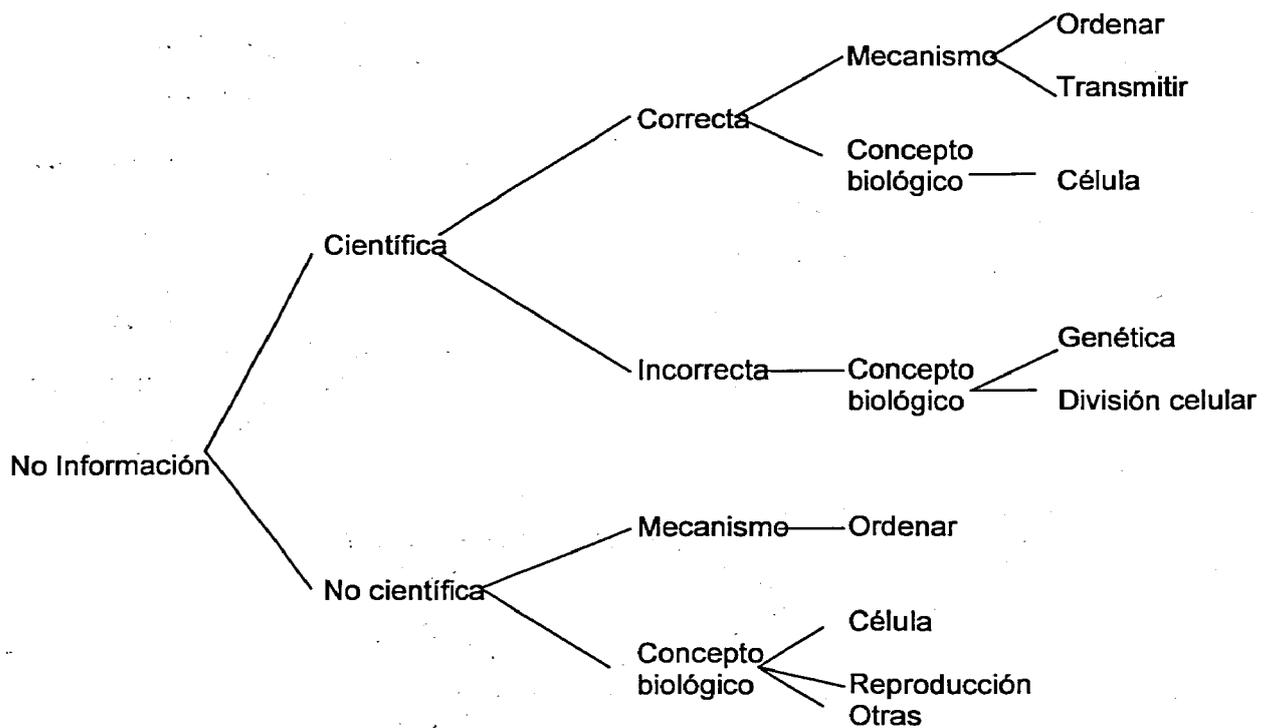
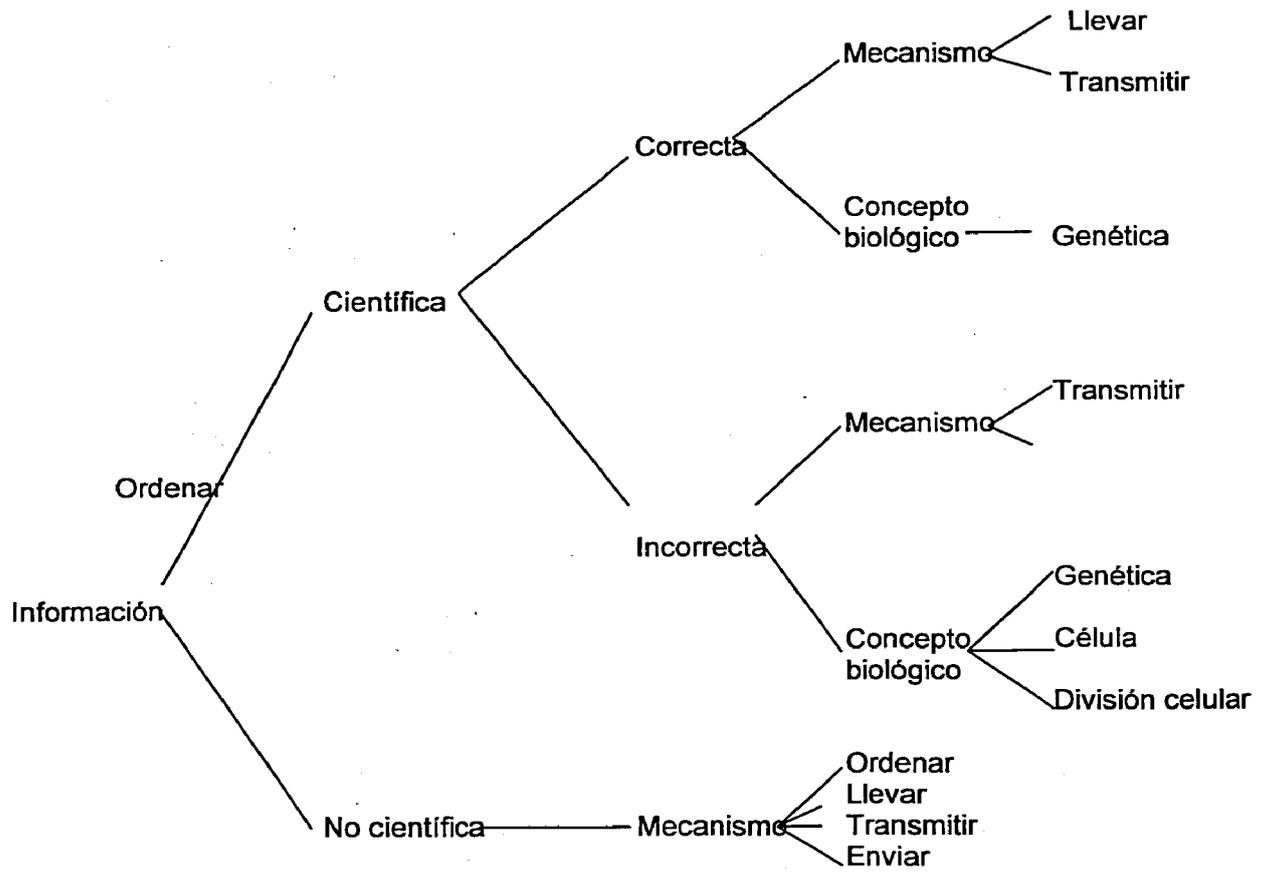
En el quinto y último nivel de clasificación aparece una gran diversidad de respuestas. La categoría *Mecanismo* incluye procesos y expresiones como *Transmitir, Ordenar, Llevar, Transportar, Ordenar* y *Enviar*. En la categoría *Concepto biológico* nos encontramos con términos como *Genética, Célula, División celular, Duplicación de los cromosomas, Sexo* y otros.

En los cuatro primeros niveles de categorización las redes sistémicas del tratamiento control y del tratamiento experimental son iguales. Sin embargo, aparecen diferencias en la última categorización, concretamente en *Concepto biológico*. Mientras que los alumnos del grupo control usan expresiones como célula, división celular y otros conceptos genéticos y de reproducción, en las respuestas del alumnado experimental aparecen términos inexistentes en la otra red, como duplicación cromosómica, ADN, gen, carácter y otras. Hay que señalar que muchas de estas expresiones están clasificadas como científicamente correctas.

Pedir al alumnado que intente dar respuesta a qué función creen que tienen los cromosomas pone de manifiesto algo más que su concepción sobre este hecho. De las respuestas podemos detectar errores conceptuales sobre la estructura del material hereditario y cómo se transmite la información hereditaria. El mismo concepto de "información" es usado, en ocasiones solo y

otras veces como "información hereditaria" o "información genética". Coincidimos con Banet y Ayuso (1995) y con Lewis y Wood-Robinson (2000) cuando ponen en duda el verdadero significado que los alumnos dan a la expresión "información hereditaria", ya que muchas veces no coincide con la que el profesor intenta transmitir. También hemos detectado concepciones que demuestran confusión entre conceptos como el de gen, cromosoma, ADN e información hereditaria, en sintonía con lo que otros autores han descrito (Brown, 1990; Banet y Ayuso, 1998; Bahar et al. 1999).

A continuación mostramos las dos redes sistémicas elaboradas:



No responde

Figura 6.3.1. Red sistémica pretest de los grupos control.

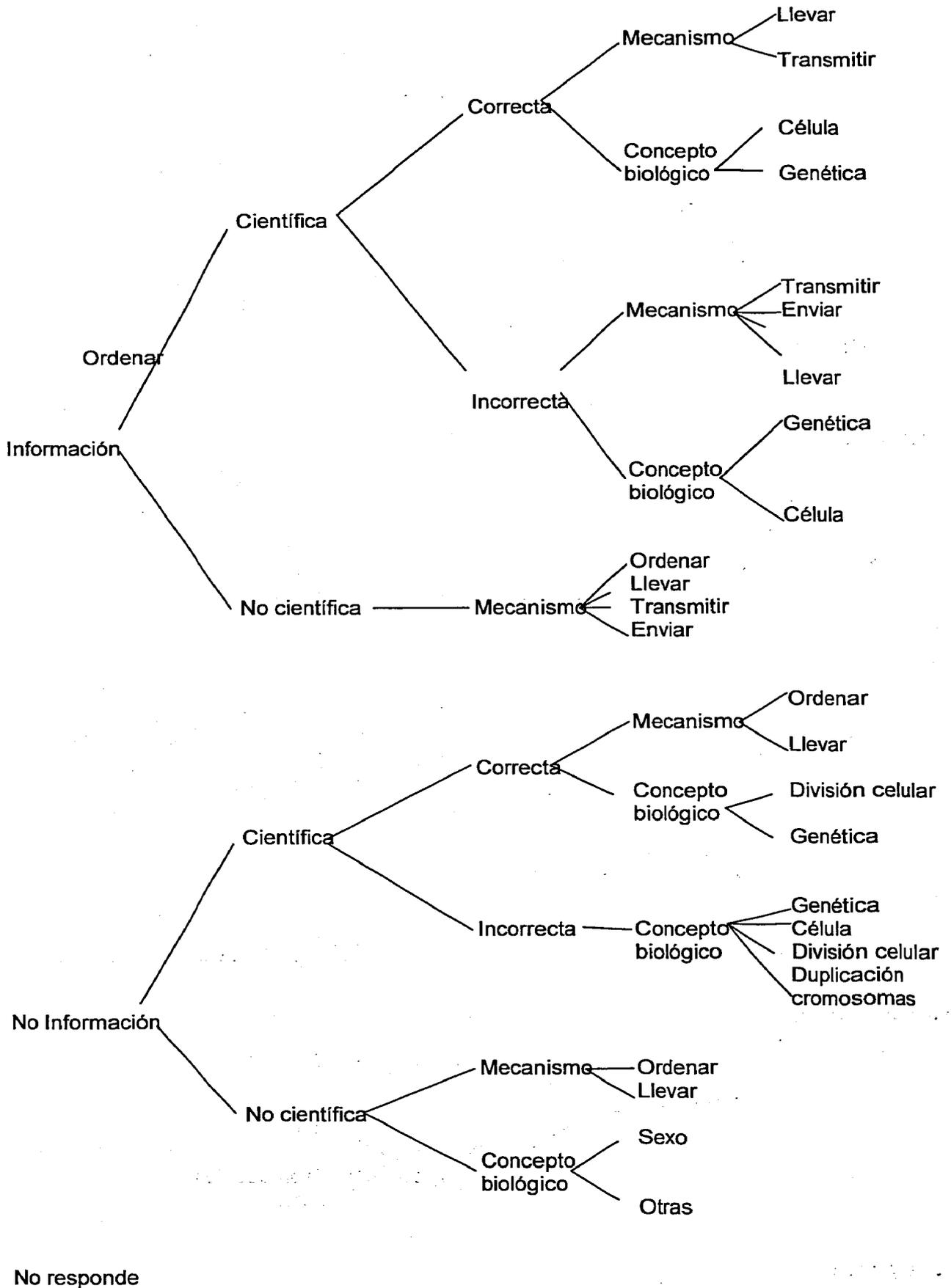


Figura 6.3.2. Red sistémica pretest de los grupos experimentales

A continuación presentamos algunos ejemplos de respuestas correspondientes a las categorías principales establecidas en la red sistémica:

Categoría	Respuesta
<i>Información Científica Correcta</i>	<i>Contienen genes que contienen información hereditaria</i>
<i>Información Científica Incorrecta</i>	<i>Retira la información del núcleo</i>
<i>Información No Científica</i>	<i>Transmitir información</i>
<i>No Información Científica Correcta</i>	<i>Determinan los caracteres y se encuentran en las células</i>
<i>No Información Científica Incorrecta</i>	<i>Dividirse en dos partes iguales cuando la célula se divide</i>
<i>No Información No científica</i>	<i>La formación del individuo</i>

Tabla 6.3.1. Ejemplos de respuestas correspondientes a las categorías establecidas

6.3.2. Red sistémica postest

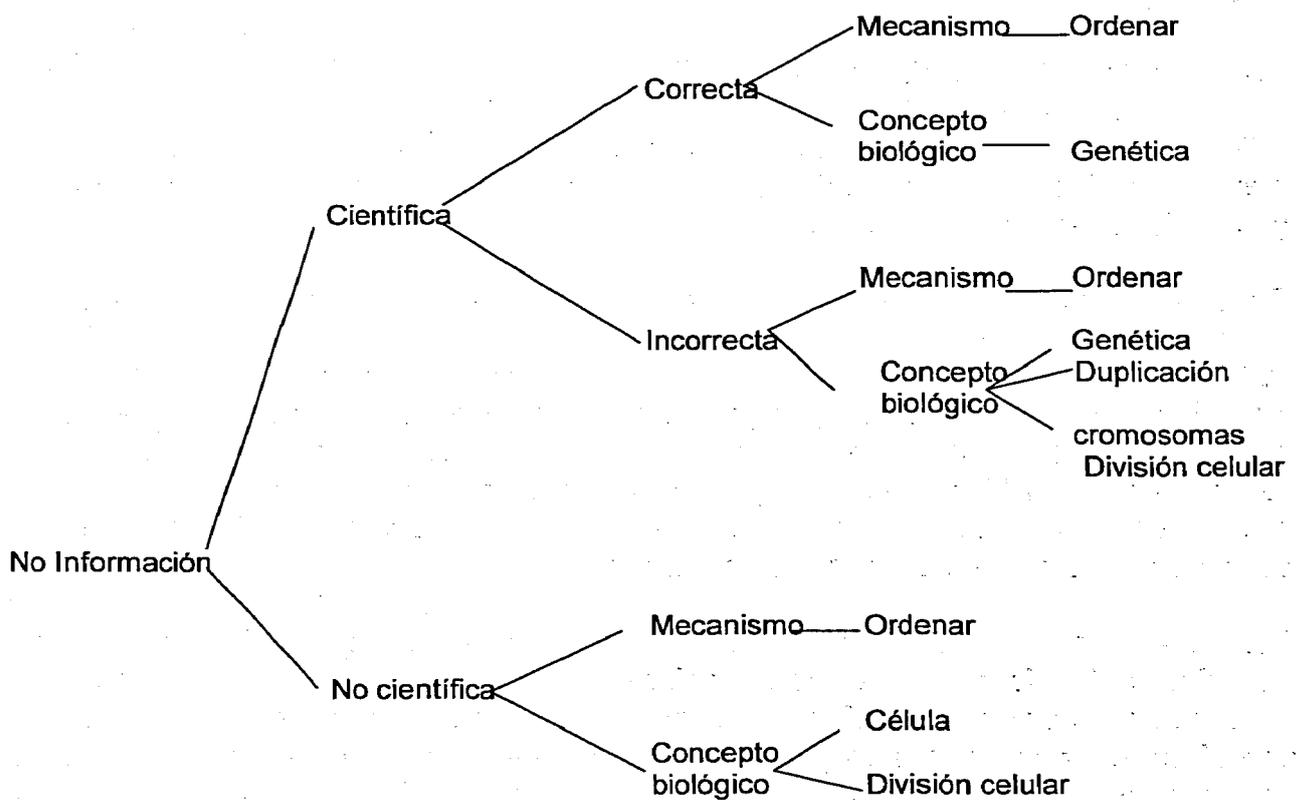
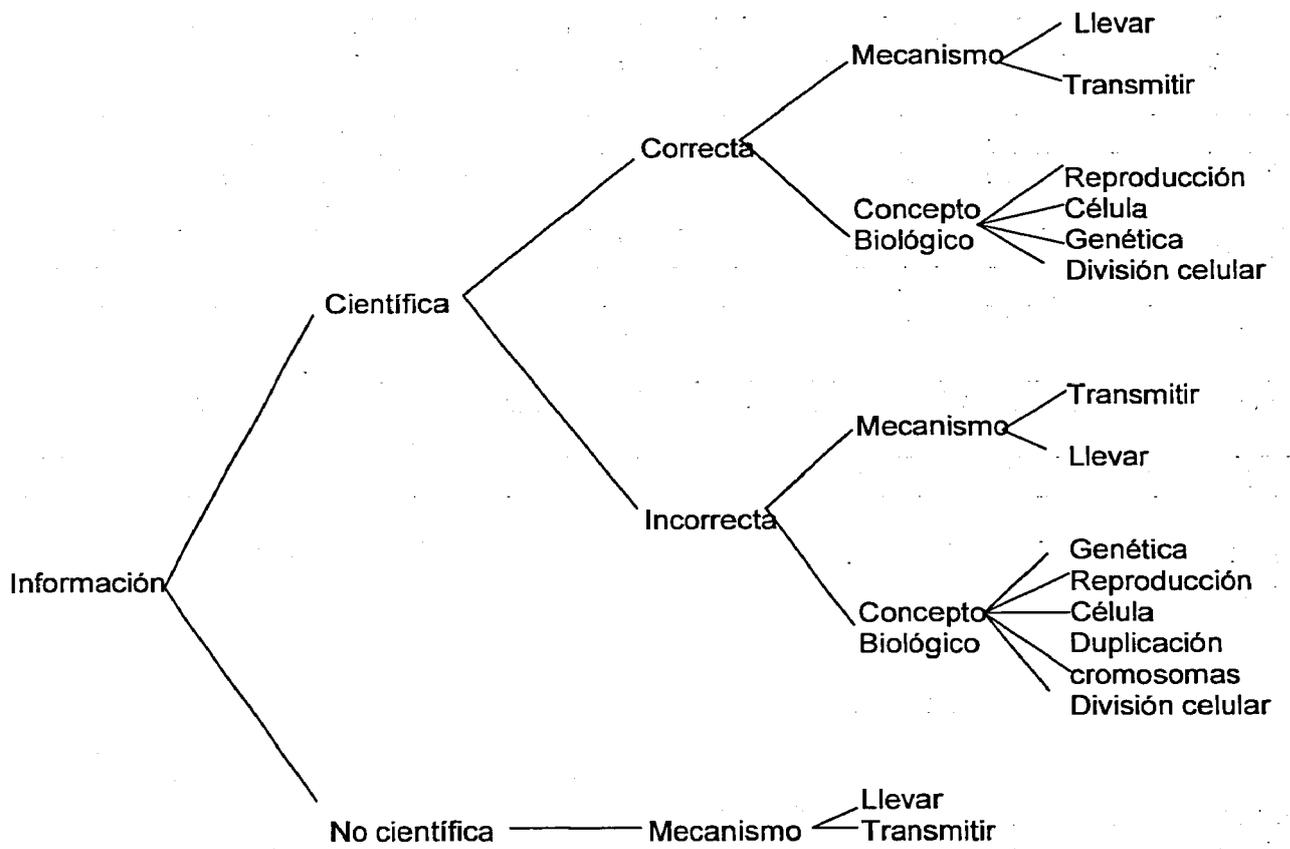
Después del tratamiento didáctico es deseable que las respuestas del alumnado sean más ricas, complejas y conceptualmente correctas. En este caso, las redes sistémicas que puedan construirse han de reflejar mejor los nuevos esquemas conceptuales.

En el postest, la red sistémica experimental que resulta de las respuestas de los alumnos es diferente de la control (figuras 6.3.3. y 6.3.4.). Además, ambas difieren de las que resultaron en el pretest, aunque en la control existen más similitudes. Hemos mantenido los mismos niveles de categorización iniciales, ya que han resultado eficaces para analizar las respuestas del alumnado.

En los dos tratamientos la red es más rica que en el pretest, en el sentido de un incremento de las categorías secundarias. Ahora bien, las diferencias entre la red experimental y la red control hay que buscarlas en dos aspectos: en primer lugar las frecuencias de las categorías se distribuyen de forma diferente, en el sentido de que en la red experimental hay más respuestas que se sitúan en categorías deseables desde un punto de vista conceptual. En segundo lugar, hay mucha más riqueza en las últimas categorías de la red, lo que resulta especialmente evidente en la red experimental.

Por otra parte, en las respuestas que han sido categorizadas en la red experimental, siempre se hace referencia a términos genéticos cuando diferenciamos entre *Mecanismo* y *Concepto Biológico*. Además, las respuestas son siempre más concretas y diversas que en el caso del tratamiento control, donde encontramos mucho menor grado de sofisticación y elaboración en las respuestas.

A continuación mostramos las dos redes sistémicas correspondientes al postest.



No responde

Figura 6.3.3. Red sistémica postest de los grupos control.

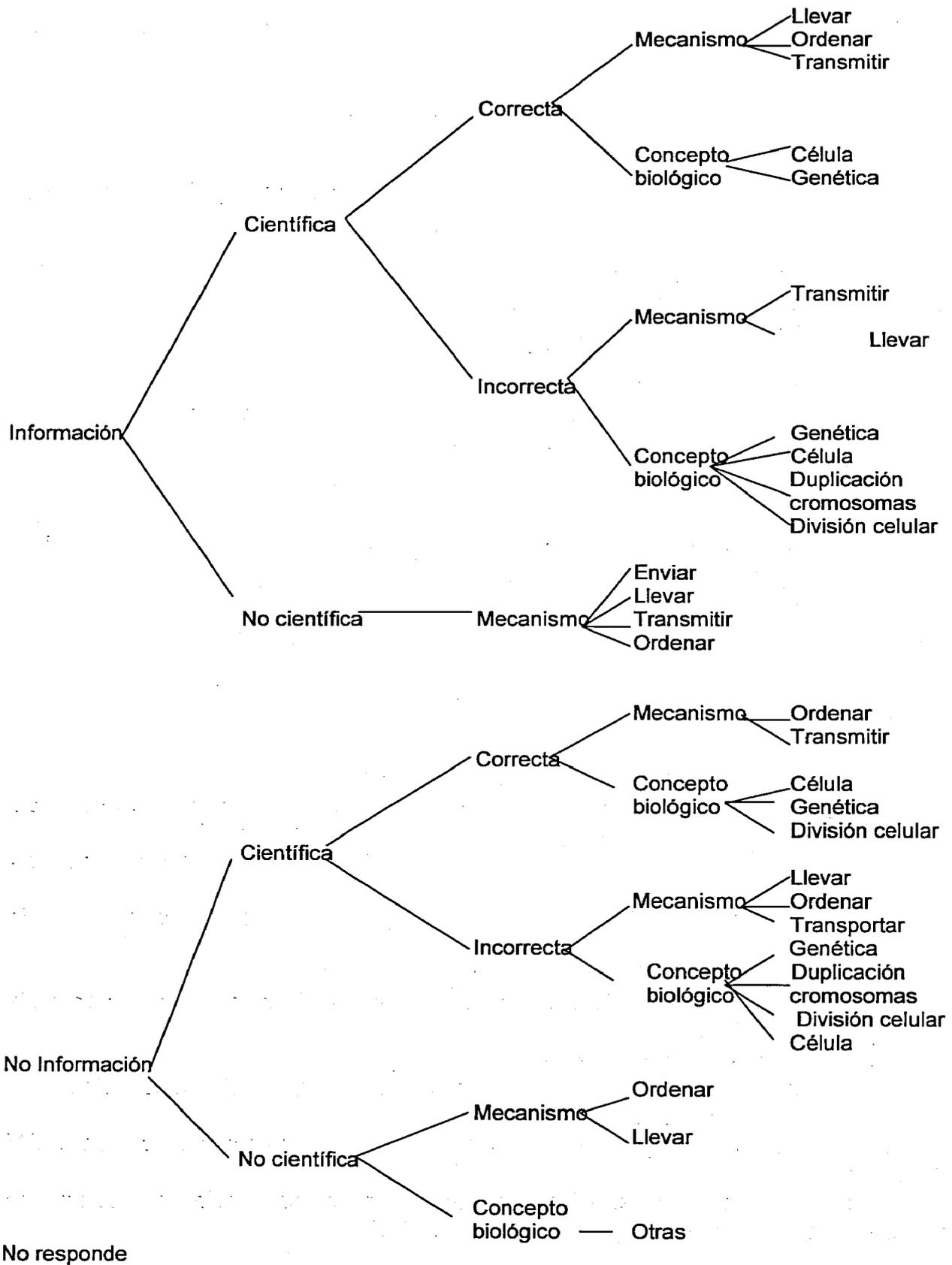


Figura 6.3.4. Red sistémica postest de los grupos experimentales.

A continuación mostramos algunos ejemplos de respuestas obtenidas en el postest.

Repuestas de los grupos Control

"Llevan diferentes informaciones"

"Multiplicarse o dividirse, depende del proceso que quiera seguir. Y también el de organizarse"

"Dentro de los cromosomas está el ADN"

"Llevan la información del padre y de la madre"

"Contienen genes que contienen información hereditaria"

"Contienen la información hereditaria"

"Contienen información"

"Ayudan al ADN en su función hereditaria"

"Determinar un carácter, por ejemplo si el pelo es rubio o moreno"

"Determinar los caracteres. Se encuentran en las células"

"Almacenar el ADN"

"Definir como somos"

"Contener la información genética a la hora de reproducirse dar individuos y a la hora de que la célula haga la mitosis o la meiosis."

"Pasar la información hereditaria a los hijos"

Respuestas de los grupos Experimentales

"Ordenan la información que se encuentra en la cadena de ADN"

"Transmitir información"

"Contener y transmitir la información hereditaria"

"Contener información y transmitirla de padres a hijos"

"Son ADN organizado. En ellos se encuentran los genes, eso quiere decir que contienen información de los caracteres, de nuestros padres,..."

"Contienen información hereditaria para que las células puedan hacer su función"

"Son la concentración del ADN que sólo se puede ver en el proceso de la mitosis"

"Contienen información y hacen que se manifieste o no"

"Mantener en orden el funcionamiento de la célula. Tienen los caracteres de padre y de la madre"

"Tienen la información genética de todo el cuerpo"

"Traspasar información hereditaria de la célula madre a sus descendientes"

"Dar información hereditaria"

"Contener información genética o hereditaria. Los cromosomas son ADN organizado"

"Función de transmisión genética. Contienen los genes donde hay caracteres que se pueden manifestar de una manera u otra"

6.3.3. Discusión de las redes sistémicas

1) Cuantificación de las categorías

Cada una de las categorías ha recibido un valor, más alto cuanto más se aproxime al conocimiento científico aceptado como correcto. Dado que las respuestas del alumnado corresponden a diferentes categorías, la suma del valor de cada una de ellas nos da el valor total asignado a cada respuesta.

Los valores asignados a cada una de las subclasificaciones son los siguientes:

- 1) Una primera valoración ha de distinguir entre los alumnos que responden y los que no lo hacen:

Responde: 1 punto
No responde: 0 puntos

- 2) Hacer referencia a información lo valoramos más positivamente que no hacer referencia:

No Información: 1 punto
Información: 2 puntos

- 3) Responder utilizando términos científicos o haciendo alusión a algún proceso biológico lo valoramos más positivamente que aquellas respuestas que no usan dichas expresiones:

Científica: 1 punto
No científica: 0 puntos

- 4) Las respuestas que son correctas han de destacar desde el punto de vista de la puntuación, mucho más que aquellas que no lo son. Puede darse el caso de alumnos que contesten con expresiones científicas y que hagan referencia a información pero que sus ideas no sean correctas, mientras que alumnos con las mismas referencias pero que además sean conceptualmente adecuadas deben valorarse de forma especial.

Correcta: 3 puntos
Incorrecta: 0 puntos

- 5) Las respuestas pueden incluir términos como información, o ser científicamente correctas, pero en algunas de ellas hay una elaboración superior de la respuesta. Consideramos que una respuesta más sofisticada puede dar idea de un mayor conocimiento de la función de los cromosomas. Por eso distinguimos las respuestas más breves y simples de aquellas con mayor grado de elaboración.

Elaborada: 1 punto
No elaborada: 0 puntos

Un ejemplo de respuesta que consideramos elaborada sería por ejemplo:
La función de los cromosomas es contener información genética sobre cómo ha de ser la célula y su función. Los sexuales determinan el sexo.

Mientras que una respuesta no elaborada podría ser:

Contener información de la persona.

Por tanto, el valor más alto que puede recibir una respuesta a la pregunta “¿Qué función tienen los cromosomas?” es de 8 y debe ajustarse a lo siguiente:

Información
Científica
Correcta
Elaborada

Todos los alumnos tienen una puntuación del 0 al 8 en esta pregunta tanto en el cuestionario pretest, como en el postest y en el recordatorio. A partir de este valor realizaremos los contrastes estadísticos que se exponen en los apartados siguientes.

2) Formación de las agrupaciones

Antes de proceder a analizar las posibles diferencias existentes en los dos tratamientos en las diferentes fases de la investigación, tenemos que comprobar si los grupos pueden considerarse homogéneos o si hay diferencias entre ellos.

Agrupación de los grupos control

A partir del test de Kruskal-Wallis vemos que existen diferencias significativas entre los cuatro grupos control ($\chi^2 = 19.480$; $p < 0.001$), por lo que no podemos considerarlos como un único grupo.

Estudiando las diferencias existentes entre los grupos obtenemos los resultados que aparecen en la tabla 6.3.2.

	C2	C3	C4
C1	U = 10.50 p < 0.001 Sí se diferencian	U = 81.0 p = 0.297 No se diferencian	U = 106.0 p = 0.845 No se diferencian
C2		U = 9.5 p < 0.001 Sí se diferencian	U = 24.0 p = 0.001 Sí se diferencian
C3			U = 118.0 p = 0.500 No se diferencian

Tabla 6.3.2. Agrupabilidad de los grupos control

Por tanto, el grupo C2 no puede formar parte de la misma agrupación que el resto de grupos control al diferenciarse significativamente del resto. Sin embargo, los otros tres grupos control no presentan diferencias significativas entre sí, con lo que podemos decir que son agrupables y pueden constituir una nueva agrupación.

Estudiando los valores de los cuartiles podemos obtener información sobre el nivel inicial de los grupos.

	C1	C2	C3	C4
Mediana	3	7	2	3
Percentil 25	0	4	0	0
Percentil 75	4.5	7	3	4.5

Tabla 6.3.3. Estadística descriptiva de los grupos control

Los valores tan elevados de la mediana del grupo C2 confirma los resultados obtenidos anteriormente en el sentido de la gran distancia que lo separa del resto de agrupaciones y hace que lo consideremos como de un nivel inicial alto.

Las medianas de los grupos C1, C3 y C4 no podemos considerar que sean demasiado bajas, por lo que podemos considerar que el nivel de partida es medio. Dado que no existen diferencias significativas entre ellos ($\chi^2=19.480$ y $p<0.001$), pueden constituirse como una nueva agrupación.

Por tanto las dos nuevas agrupaciones control quedan formadas de la siguiente manera:

Control Alto (CA): C2

Control Medio (CM): C1 + C3 + C4

Agrupación de los grupos experimentales

De la misma manera que en el caso de los grupos control, al realizar el test de Kruskal-Wallis se observan diferencias significativas entre los grupos del tratamiento experimental en el pretest ($\chi^2=23.266$; $p<0.001$). Estudiando las diferencias existentes entre los diferentes grupos obtenemos los resultados siguientes, que nos determinan la formación de posibles agrupaciones:

	E2	E3	E4	E5
E1	U = 112.0 p= 0.778 No se diferencian	U = 1.7 p = 0.015 Sí se diferencian	U = 142.5 p= 0.944 No se diferencian	U = 59.5 p < 0.001 Sí se diferencian
E2		U = 71.5 p = 0.05 Sí se diferencian marginalmente	U = 113.0 p = 0.807 No se diferencian	U = 58 p = 0.001 Sí se diferencian
E3			U= 80.5 p = 0.023 Sí se diferencian	U = 146.0 p = 0.174 No se diferencian
E4				U = 63.5 p < 0.001 Sí se diferencian

Tabla 6.3.4. Agrupabilidad de los grupos experimentales

El estudio de los cuartiles nos dará más información sobre las diferencias observadas en los grupos y nos ayudará a decidir posibles agrupaciones.

	E1	E2	E3	E4	E5
Mediana	3	3.5	0	4	0
Percentil 25	2	1.5	0	2	0
Percentil 75	7	4.5	3	5.5	2

Tabla 6.3.5. Estadística descriptiva de los grupos experimentales

Vemos que las medianas de los grupos E3 y E5 tienen el mismo valor, mientras que los grupos E1, E2 y E4 tienen valores similares. Por otra parte, el grupo E5

presentaba diferencias significativas con el resto salvo con E3 y los grupos E1, E2 y E4 no se diferenciaban entre sí y sí lo hacían con E3 y E5.

Por otra parte no existen diferencias significativas entre los grupos E1 + E2 + E4 ($\chi^2=23.266$; $p<0.001$), por lo que pueden formar una nueva agrupación.

Por tanto, las nuevas agrupaciones que resultan son:

Experimental Bajo (EB): E3 + E5

Experimental Medio (EM): E1 + E2 + E4

6.3.3.1. Diferencias pretest-postest

Para comprobar si ha habido un cambio en la concepción de los alumnos después de la instrucción hemos realizado una serie de test estadísticos. Para ello, hemos utilizado el índice de la red que cada alumno posee en función de sus respuestas. Recordemos que este índice de la red oscila entre 0 y 8, siendo deseable un valor elevado.

Las diferencias entre los valores obtenidos en el pretest y en el postest quedan reflejadas en la tabla 6.3.6.

	Estadístico	P	Mediana		Percentil 25		Percentil 75	
			Pretest	Postest	Pretest	Postest	Pretest	Postest
EB	-4.405	<0.001	0	4	0	3	2	7
EM	-3.401	0.001	3.5	7	2	3	6	7
CA	-0.755	0.450	7	7	4	3	7	8
CM	-3.006	0.003	2	3	0	2.75	3.25	7

Tabla 6.3.6. Diferencias entre el pretest y el postest de las diferentes agrupaciones.

Se observa que en los dos grupos experimentales hay diferencias significativas, especialmente en el caso del grupo EB, y que también las hay en el grupo CM, aunque no aparecen en el grupo CA. En este último caso no aparecen dado que el nivel conceptual de partida de estos alumnos era muy superior al del resto, tal como se observa en la mediana que es de 7, sobre un máximo de 8. Tal vez un porcentaje elevado de alumnos que ya poseían prerrequisitos conceptuales necesarios para contestar esta cuestión sea la causa. No obstante, dichos alumnos no han mostrado una ventaja significativa cuando han sido sometidos a una docencia control, dado que no se observan diferencias significativas entre el pretest y el postest y la mediana después de la instrucción es igual que antes de la instrucción. Además, en el pretest los datos muestran una mayor dispersión (ver tabla 6.3.6.)

En el grupo CM sí hay diferencias significativas y además la mediana sube de 2 a 3. Pero es en los grupos EB y EM donde la mejora es mucho más acusada. En este último se pasa de una mediana de 3.5 a 7, mientras que en EB, que partía de una mediana inferior al grupo control medio, ha alcanzado mejores resultados, siendo su mediana de 4. Por tanto, aunque el tratamiento control ha producido una mejora en CM, el tratamiento didáctico experimental ha conseguido mejores resultados. El índice de la red ha mejorado mucho y eso significa respuestas más cercanas al conocimiento científico correcto.

Se hace necesario comprobar si los grupos en estudio presentaban diferencias significativas entre ellos en el pretest y en qué sentido se producen, si es el caso, en el postest. En la tabla 6.3.7. se muestran dichas diferencias:

PRETEST	EM	CA	CM
EB	U=409.0 P<0.001 Hay diferencias	U=19.0 P<0.001 Hay diferencias	U=617.5 P=0.008 Hay diferencias
EM		U=102.0 P=0.001 Hay diferencias	U=783.0 P=0.013 Hay diferencias
CA			U=44 P<<0.001 Hay diferencias

Tabla 6.3.7. Diferencias entre las agrupaciones en el pretest

En el pretest todas las agrupaciones muestran diferencias significativas entre sí. Es lógico que tanto CM y CA como EM y EB se diferencien ya que su configuración como agrupación independiente se basa en las diferencias encontradas y descritas en el apartado anterior. Por otra parte, es normal que el grupo CA se diferencie del resto ya que su nivel inicial es mucho mayor que el resto de agrupaciones, con una mediana de 7 muy superior a las de las otras agrupaciones.

En el resto de agrupaciones las diferencias existentes nos facilitarán descubrir la tendencia en el postest de los diferentes grupos control y experimental.

POSTEST	EM	CA	CM
EB	U=779.0 p=0.168 No hay diferencias	U=167.0 p=0.253 No hay diferencias	U=724.0 p=0.118 No hay diferencias
EM		U=250.0 p=0.778 No hay diferencias	U=711.0 p=0.002 Hay diferencias
CA			U=151.5 p=0.035 Hay diferencias

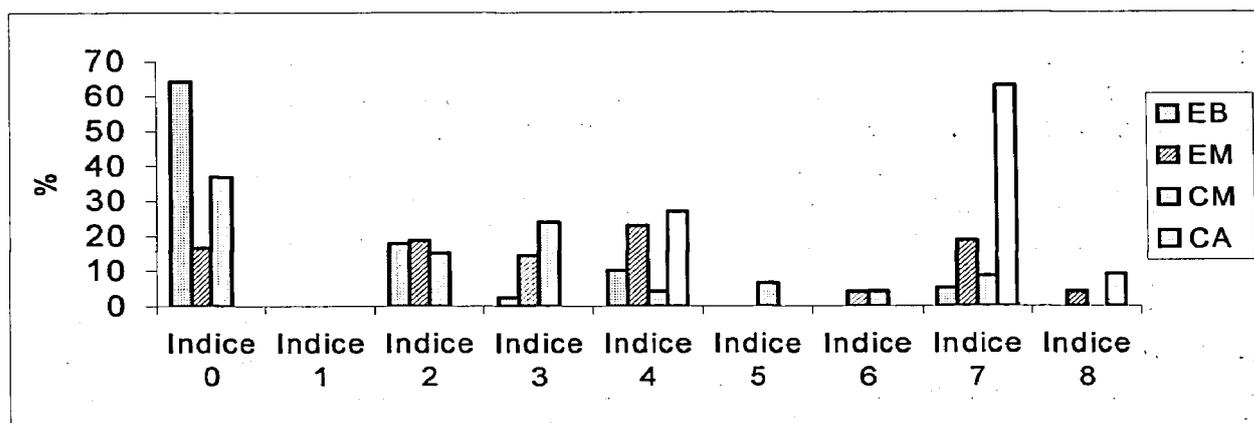
Tabla 6.3.8. Diferencias entre las agrupaciones en el postest

En el postest lo primero que llama la atención es que entre CA, el grupo que partía de un nivel más alto antes de la instrucción, y los dos grupos experimentales no hay diferencias significativas. Esto es especialmente importante en el grupo EB ya que era el que antes de la instrucción presentaba un nivel inferior. El nivel de partida del grupo CA era muy superior a los dos experimentales, como se observa en la tabla de percentiles, mientras que en CA la mediana era 7 en EB y EM es de 0 y 3.5, respectivamente. En el postest, los grupos experimentales presentan medianas mucho mayores, hasta el punto de igualar en EM el de CA. Por tanto, podemos afirmar que el tratamiento experimental ha conseguido que alumnos que partían de un nivel distante al de CA, han sido capaces de alcanzarlo y además la agrupación control no ha mostrado un avance significativo.

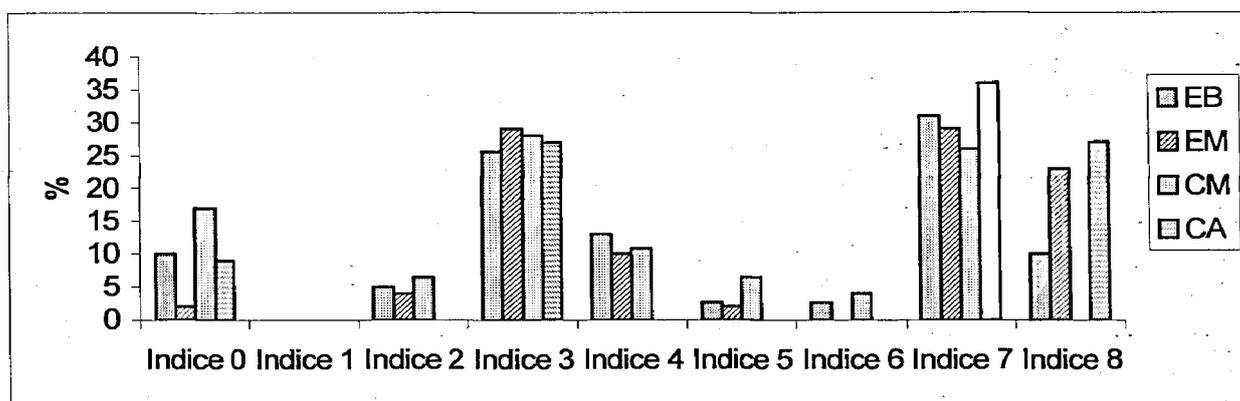
El otro grupo control, el CM, también muestra diferencias con el grupo EM y con el grupo CA. Las diferencias con el grupo CA, son lógicas ya que ambos eran muy diferentes inicialmente y el tratamiento didáctico control no ha sido capaz de homogeneizar ambas agrupaciones de alumnos. Las diferencias que se observan entre CM y EM en el pretest se mantienen también en el postest. Al observar las medianas vemos que mientras que en el grupo control se produce un incremento moderado de 2 a 3, en el grupo experimental se pasa de 3.5 a 7. Por tanto, aunque los dos grupos han sido denominados como de nivel "medio", en el grupo EM se parte de un nivel lo suficientemente superior al del grupo control como para que existan diferencias significativas, tal como se observa en la tabla 6.3.8. Sin embargo, en el postest atribuimos la significación a la diferencia en el tratamiento didáctico, tal y como lo avalan los valores tan diferentes de las medianas. Los altos valores de la mediana en el grupo experimental nos indica que las concepciones de los alumnos después de la instrucción se acercan más a la corrección científica. No obstante, ha de remarcarse la mejora existente en el grupo control, lo que indica que el modelo de enseñanza tradicional ha conseguido una transformación moderada de las concepciones de los alumnos.

Por tanto, el tratamiento didáctico experimental ha tenido éxito en superar las diferencias conceptuales existentes en los grupos a los que se aplicó. No obstante, hay diferencias entre EM y EB, debido a que, al partir EM de un nivel superior, el tratamiento didáctico ha permitido elaborar esquemas conceptuales más complejos que en EB.

En las gráficas que presentamos a continuación se aprecian las diferencias en las frecuencias de los índices en el pretest y en el postest en los diferentes grupos.



Gráfica 6.3.1. Porcentaje de respuestas correspondientes a cada índice de la red en el pretest.



Gráfica 6.3.2. Porcentaje de respuestas correspondientes a cada índice de la red en el postest.

Tal como vemos en las gráficas, en el postest la frecuencia de los índices 7 y 8 es muy superior a la del pretest. Llama la atención que en el postest en el grupo CA, hay menos alumnos con índice 7 debido a que algunos han alcanzado el máximo esperado, pero por el contrario, aparece un porcentaje importante de índice 0 y 3, inexistente en el pretest.

El grupo CM tiene menos frecuencia de índice 0 en el postest y se produce una tendencia a alcanzar valores más altos, aunque no aparece ningún alumno con índice 8 y es la agrupación con menor número de alumnos con índice 7, un 26% frente a un 36.4% de CA, un 29.2% de EM o un 30.8% de EB, siendo esta última una agrupación que presentaba un nivel inferior en el pretest con el 64.1% de los alumnos con índice 0.

En los grupos experimentales se produce una clara tendencia de pasar de índices bajos a índices de mayor valor y por tanto mayor corrección científica.

Aunque hay un buen número de alumnos que en el postest persisten en un nivel 3, la frecuencia de índices 7 y 8 es mucho mayor que en el pretest.

6.3.3.2. Diferencias en el recordatorio

Después del estudio de las concepciones de los alumnos antes de la docencia (pretest) e inmediatamente después (postest), falta saber qué éxito han tenido los procesos de aprendizaje control y experimental en el alumnado un curso después (recordatorio). La situación ideal sería que no hubiese diferencias entre el postest y el recordatorio, lo que significa que ha habido retención significativa del aprendizaje. Además, sería deseable que sí existan diferencias respecto del pretest, ya que eso nos indicaría que no ha habido retorno a concepciones iniciales.

En la tabla 6.3.9. aparecen los resultados de los análisis estadísticos:

	POSTEST-RECORDA			PRETEST-RECORDA		
	Estadístico	p	¿Hay diferencias?	Estadístico	p	¿Hay diferencias?
EB	-0.733	0.463	No	-3.681	<0.001	Sí
EM	-2.470	0.014	Sí	-1.184	0.237	No
CA	-0.526	0.599	No	-1.035	0.301	No
CM	-0.416	0.677	No	-2.402	0.016	Sí

Tabla 6.3.9. Diferencias en las fases de la investigación en las diferentes agrupaciones.

La situación ideal a la que nos referíamos anteriormente la presentan el grupo EB y el grupo CM. En ambos casos la docencia ha sido capaz de provocar una retención meses después de la docencia. En el grupo EM el recordatorio presenta diferencias con el postest pero no con el pretest. Aparentemente ha habido un retroceso en el alumnado que lo vuelve a situar en lugares cercanos al inicio. Por último, el grupo CA no presenta diferencias con el postest, que es lo deseable, pero tampoco con el pretest. En este caso hay que atribuirlo al elevado nivel de esta agrupación ya antes de la docencia, con lo que es positivo que no existan diferencias.

Si analizamos las medianas y los cuartiles de los cuatro grupos a lo largo de las tres fases podemos extraer nuevas conclusiones:

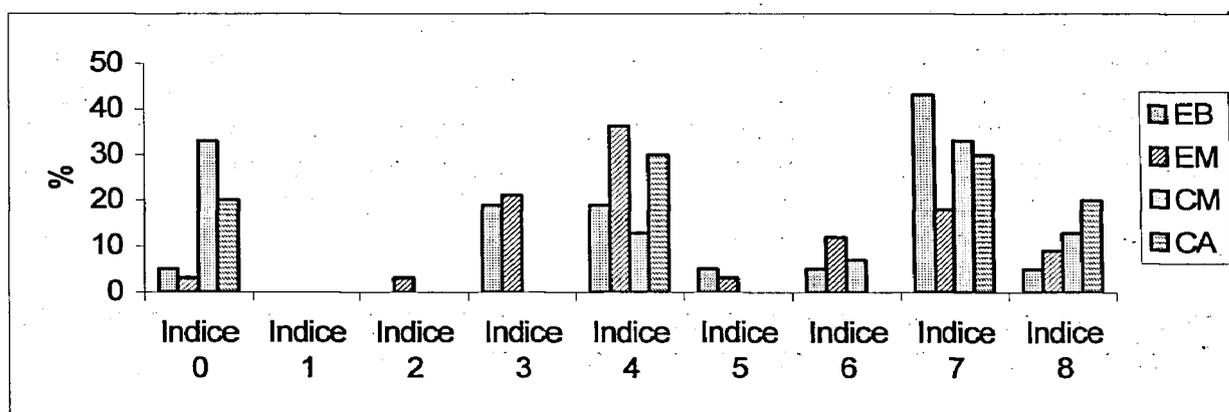
	PERCENTIL 25			MEDIANA			PERCENTIL 75		
	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda
EB	0	3	3.5	0	4	6	2	7	7
EM	2	3	4	3.5	7	4	6	7	7
CA	4	3	3	7	7	5.5	7	8	7.25
CM	0	2.75	0	2	3	6	3.25	7	7

Tabla 6.3.10. Valores de las medianas y percentiles en las diferentes agrupaciones en cada fase de la investigación.

La evolución positiva de las medianas en los grupos EB y CM, nos ratifica en lo dicho anteriormente. Sin embargo, en el grupo EM, aunque la mediana baja sensiblemente en el recordatorio de 7 a 4, consigue mantenerse por encima del nivel obtenido en el pretest, lo que indica una mejora relativa. En el grupo EB la mediana en el recordatorio es muy superior a la del pretest, lo que indica la diferencia en las concepciones del alumnado, pero se produce el extraño fenómeno de que las medianas son incluso superiores a las del postest. Es deseable que no existan diferencias significativas entre el postest y el recordatorio, lo que nos indica un grado de retención alto, pero llama la atención que el nivel sea incluso superior meses después a la instrucción. Tan sólo podemos atribuirlo a que algunos de estos alumnos se encontraban realizando estudios de bachillerato de la modalidad de ciencias y por tanto presenten una predisposición más positiva durante la fase de instrucción o que en los estudios postobligatorios se hayan trabajado conceptos de biología celular, como efectivamente es el caso. Lo mismo sucede en el grupo CM, donde también hay alumnos que hacen estudios postobligatorios.

Podemos decir por tanto, que el tratamiento didáctico control ha tenido una eficiencia dispar, ya que en el grupo CM se produce un incremento notable del valor de la mediana, mientras que en el grupo CA aparece una mediana por debajo de la que tenía en el pretest, situación en absoluto deseable y podemos decir que no se ha producido la evolución positiva detectada en el otro grupo control ya que no únicamente no se mantiene sino que se obtienen peores resultados. Otra posibilidad que no podemos descartar es que el bajo tamaño muestral pueda producir fluctuaciones estadísticas aleatorias.

Si analizamos cada uno de los individuos de las agrupaciones en el recordatorio en la gráfica 6.3.3. observamos la siguiente distribución de los índices de la red:



Gráfica 6.3.3. Porcentaje de respuestas correspondientes a cada índice en el recordatorio

Se observa que un porcentaje importante de alumnos de los grupos CM y CA mantienen un índice 0, si bien es cierto que hay bastantes alumnos que se sitúan en índices 7 y 8. Sin embargo, en los grupos experimentales no se produce una bipolarización tan clara. La mayor parte de respuestas tienen un

índice de red superior a 3 y de hecho el grupo EB es el que presenta una frecuencia más alta de alumnos con índice 7.

El valor de la mediana tan elevado que se obtiene en el grupo CM en el recordatorio no ha de hacernos perder de vista que es la agrupación que tiene un porcentaje mayor de creaciones con índice 0 y que no se produce una distribución uniforme. En cualquier caso no hay que renunciar a pensar que en determinado aspecto el modelo tradicional de enseñanza ha podido ser válido.

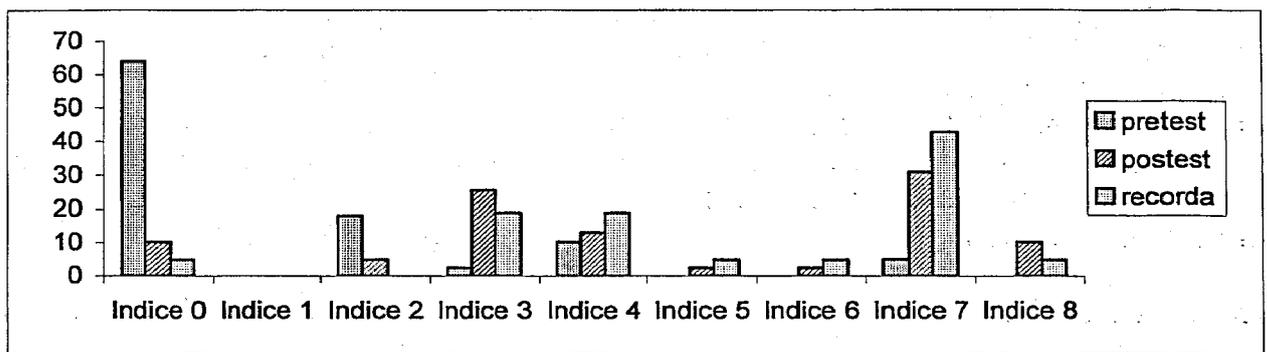
A pesar de todo, consideramos que el tratamiento didáctico experimental ha sido más eficiente que el control en la primera y segunda fase, ya que conseguimos respuestas con un índice mayor, especialmente destacable en EM donde se consigue pasar de una mediana de 3.5 a 7 y una frecuencia muy elevada de respuestas de índice 7 y 8 tal como hemos visto en la gráfica 6.3.2. Sin embargo, en el recordatorio se produce un retroceso aunque manteniendo un nivel superior al del pretest. En el grupo EB se observa un importante cambio conceptual del pretest al postest y los resultados consiguen mantenerse en el recordatorio y aun mejorar algo. La combinación de los resultados en estas dos agrupaciones experimentales nos indica una capacidad de nuestra propuesta didáctica algo superior a la control, que si bien se ha manifestado adecuada, no lo ha sido tanto como la experimental.

No obstante, si sometemos las diferentes agrupaciones a un test de contraste estadístico, no aparecen diferencias significativas entre ellas. Hay que tener en cuenta que parte del alumnado que respondió en las dos primeras fases y sobre los que se produjo la intervención didáctica ya no estudiaban en el centro, por lo que estos resultados hay que observarlos con la debida cautela. Ahora bien, pueden ser un buen indicador de la tendencia y de la retención en los alumnos de los conceptos y procedimientos trabajados. En este sentido, la tendencia de la mediana a lo largo de las tres fases y especialmente el proceso didáctico entre el pretest y el postest adquieren para nosotros un valor relevante. Por otra parte, la evolución de los índices en las tres fases, observada en las gráficas es también bastante reveladora. En la tabla 6.3.11. aparecen los valores estadísticos de los contrastes realizados.

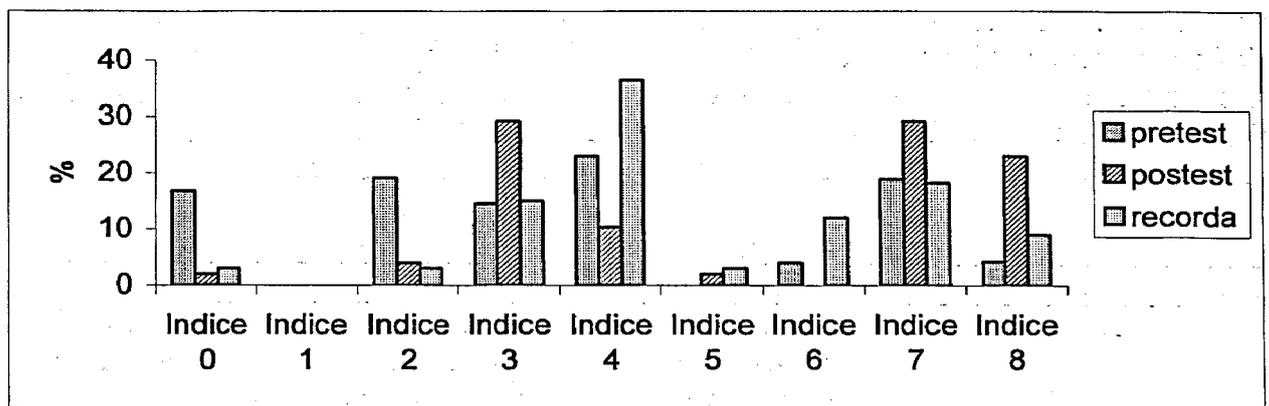
RECORDATORIO	EM	CA	CM
EB	U=306.5 P=0.466 No hay diferencias	U=100.5 P=0.843 No hay diferencias	U=145.5 P=0.690 No hay diferencias
EM		U=146 P=0.574 No hay diferencias	U=246.5 P=0.982 No hay diferencias
CA			U=67.5 P=0.667 No hay diferencias

Tabla 6.3.11. Diferencias entre las agrupaciones en el recordatorio

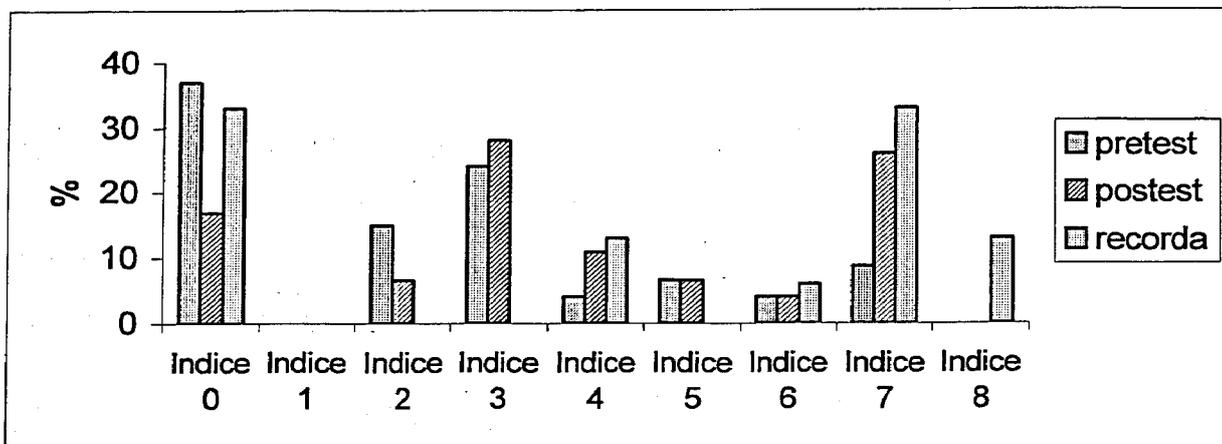
Los resultados del contraste estadístico nos hace pensar en una homogeneización de los grupos varios meses después de la docencia, independientemente del tratamiento didáctico recibido. En los apartados anteriores hemos descrito detalladamente las diferencias entre las diferentes agrupaciones en las diferentes fases de la investigación. Hemos detectado una mejora en las concepciones del alumnado en el tratamiento experimental y también en el grupo control, por lo que parece ser que ambos modelos pueden haber surtido los mismos efectos. No obstante, insistimos en los aspectos referidos anteriormente, en el sentido de la existencia de diferencias entre ambos tratamientos en algunos aspectos. A continuación presentamos gráficamente la evolución de cada agrupación en las tres fases de la investigación.



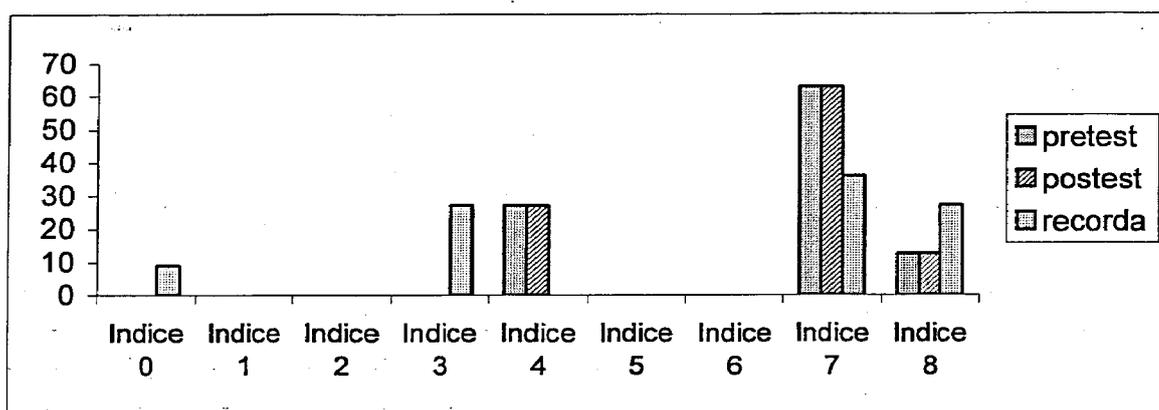
Gráfica 6.3.4. Porcentaje de respuestas correspondientes a cada índice en la agrupación Experimental Bajo



Gráfica 6.3.5. Porcentaje de respuestas correspondientes a cada índice en la agrupación Experimental Medio



Gráfica 6.3.6. Porcentaje de respuestas correspondientes a cada índice en la agrupación Control Bajo



Gráfica 6.3.7. Porcentaje de respuestas correspondientes a cada índice en la agrupación Control Alto.

6.3.4. Modelos de evolución de aprendizaje

A los largo de las tres fases del estudio cada alumno puede tener una evolución diferente de su aprendizaje en función de diferentes factores, algunos de los cuales pudieran ser los prerrequisitos conceptuales de que disponga, motivación por el tema en estudio, destrezas cognitivas, etc. De esta manera, las creaciones que un alumno pueda realizar en el pretest pueden verse modificadas tras la docencia. También es posible que unos meses después las idea que posea sean similares al pretest, al postest o difieran de ambos. Hemos analizado la tendencia de cada uno de los alumnos en las tres fases comparándolas entre sí con la finalidad de detectar posibles modelos en la evolución del aprendizaje. Comparamos la creación del pretest con la del postest y la del postest con la del recordatorio usando como elemento de comparación el del índice obtenido por el alumno a partir de la red sistémica. De esta manera obtenemos diferentes modelos y cada alumno toma uno de ellos. Establecemos una gradación desde el modelo óptimo y deseable hasta el menos ideal, valorándolos de mayor a menor. En la tabla aparecen los modelos que han sido detectados:

MODELO	Evolución Pretest-Postest	Evolución Posttest-Recordatorio	Valoración
1	Índice mejora	Índice mejora	9 (Modelo óptimo)
2	Índice mejora	Índice se mantiene	8
3	Índice mejora	Índice empeora	7
4	Índice se mantiene	Índice mejora	6
5	Índice se mantiene	Índice se mantiene	5
6	Índice se mantiene	Índice empeora	4
7	Índice empeora	Índice mejora	3
8	Índice empeora	Índice se mantiene	2
9	Índice empeora	Índice empeora	1

Tabla 6.3.12. Modelos de evolución del aprendizaje

1) Presencia de los modelos en los grupos

En la tabla siguiente mostramos los porcentajes de cada uno de los modelos que aparecen en las cuatro agrupaciones:

	EB	EM	CA	CM
MODELO 1	4.8	12.1	0	7.1
MODELO 2	33.3	6.1	10	28.6
MODELO 3	33.3	45.5	10	28.6
MODELO 4	9.5	0	0	21.4
MODELO 5	4.8	6.1	30	0
MODELO 6	0	9.1	20	7.1
MODELO 7	14.3	15.2	30	0
MODELO 8	0	3	0	7.1
MODELO 9	0	3	0	0

Tabla 6.3.13. Porcentaje de modelos presentes en cada agrupación.

Para detectar si se han producido diferencias significativas entre los diferentes grupos hemos realizado el test de Kruskal-Wallis, obteniéndose un valor del estadístico de 0.488 y una probabilidad de 0.921. Por tanto, no podemos decir que el comportamiento de las diferentes agrupaciones, respecto del modelo de enseñanza sea distinto. No obstante, se observan ciertas tendencias que deben ser analizadas en cada una de las agrupaciones por separado.

a) Control Alto

En este grupo aparecen cinco de los nueve modelos descritos anteriormente: modelos 2, 3, 5, 6 y 7. No hay ningún alumno que se encuentre en el modelo 1, es decir, en el modelo ideal y tan sólo hay un alumno del modelo 2 y otro del modelo 3. La mayor parte del alumnado se encuentran en modelos de baja calidad, es decir, el 5, 6 y 7. Atribuimos la presencia de estos modelos al hecho de que esta agrupación partía de un nivel inicial de corrección en sus

concepciones respecto de los demás grupos mucho mayor, con lo que cualquier ligero descenso en las fases posteriores de la investigación se acusa en la presencia de modelos menos deseables.

b) Control Medio

Entre los diferentes modelos que aparecen en la agrupación CM hay un único alumno que presenta el modelo ideal y el siguiente modelo deseable, el modelo 2, se encuentra en el 28.6% del grupo. Sin embargo, difiere del grupo anterior en el hecho de que son pocos los alumnos con modelos de evolución negativa, el 14.2%.

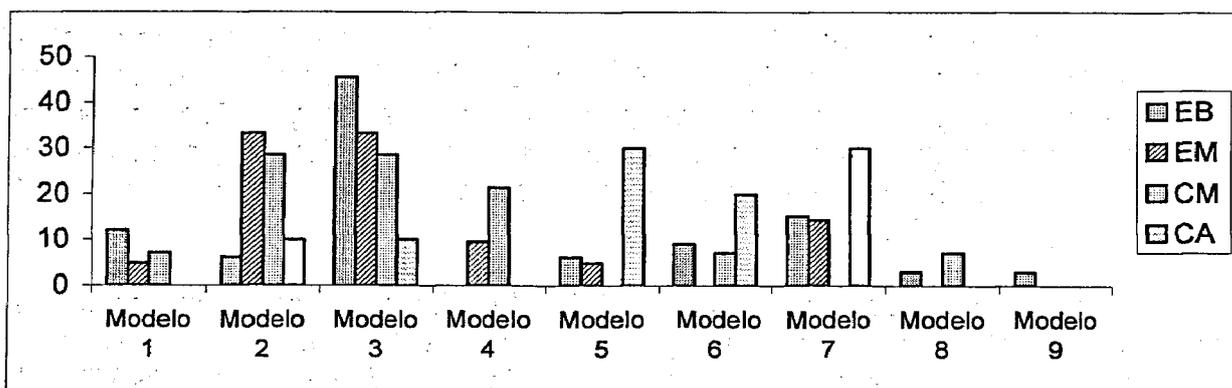
c) Experimental Medio

En esta agrupación aparecen 7 de los 9 modelos descritos que son los siguientes: modelos 1, 2, 3, 6, 7, 8 y 9. En esta agrupación el modelo más frecuente es el modelo 3, que se encuentra en el 45.5% de los casos, mientras que el 12.1% del alumnado pertenece al modelo óptimo, el modelo 1. Consideramos que los modelos 1, 2 y 3 son las mejores situaciones en las que nos podemos encontrar ya que en ellos se produce siempre una mejora del pretest al postest. En esta agrupación el 75% de los alumnos tiene alguno de estos tres modelos, mientras que en las dos agrupaciones control anteriores representan el 20% en CA y el 64.3% en CM.

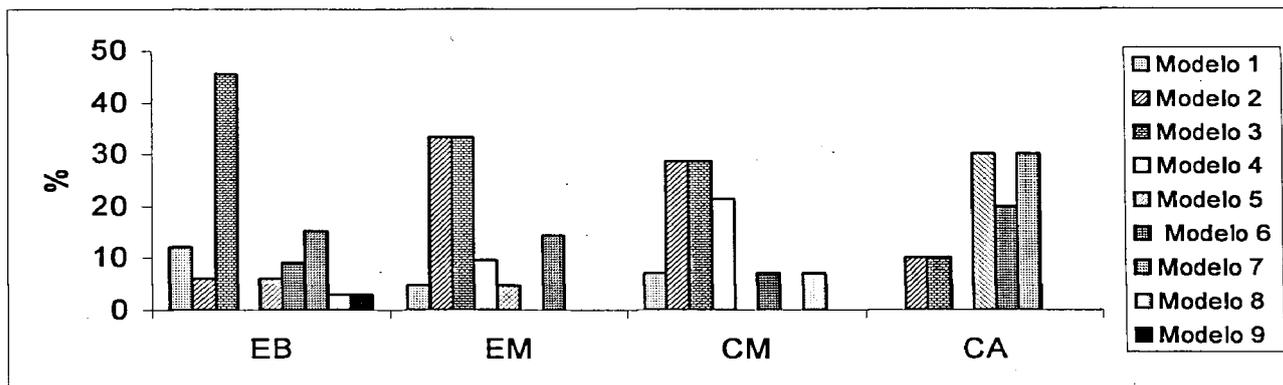
d) Experimental Bajo

También se han detectado 7 modelos en esta agrupación que son: modelos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7. En este caso el 63.7 % de los alumnos presentan modelos deseables. Consideramos positivo que el peor modelo sea el 7, no habiéndose detectado ningún modelo 8 ó 9 como sucede en EM o CM.

En las gráficas siguientes podemos ver más claramente la presencia de los modelos evolutivos del aprendizaje en cada agrupación:



Gráfica 6.3.8. Porcentaje de modelos presentes en cada agrupación.



Gráfica 6.3.9. Presencia de los diferentes modelos de aprendizaje en cada agrupación.

6.3.5. Análisis de las respuestas del alumnado

Mientras en los apartados anteriores hemos realizado un análisis global del conjunto de la red sistémica y de las respuestas del alumnado, en este punto realizaremos un estudio más exhaustivo de cada una de las categorías establecidas en las redes sistémicas. Abordaremos este estudio abundando más en el aspecto cualitativo, sin olvidar el cuantitativo.

Categoría *Responde – No Responde*

En realidad, esta no es una categoría especificada en la red sistémica pero la hemos tenido en cuenta a la hora de cuantificar en el índice de red. Consideramos que el no responder en el pretest puede ser debido a la necesidad de prerequisites conceptuales ausentes en el alumnado. Sin embargo, dejar la pregunta en blanco en las fases siguientes puede ser atribuido a la intervención didáctica. Evidentemente, esto no implica una corrección conceptual en las respuestas, por lo que es necesario estudiar detalladamente los diferentes aspectos.

En los dos grupos experimentales se produce un incremento de respuestas tanto en el postest, como también en el recordatorio, mientras que en el grupo Control Medio el porcentaje en el postest es inferior y además en el recordatorio se produce un descenso. En el Control Alto, se produce un descenso desde el 100% de alumnos que responden en el pretest a un 90.1% en el postest y un 80% en el recordatorio.

Efectivamente, en el postest el porcentaje de alumnos que responden es considerablemente mayor en el grupo experimental que en el control, especialmente en el grupo EB, que pasa de un 35.6% a un 89.7%. Si analizamos los resultados en el recordatorio, vemos que esa diferencia a favor de los grupos experimentales no sólo se mantiene sino que crece, mientras que en los grupos control se produce un descenso meses después de haber

finalizado la instrucción. Consideramos que la docencia en los grupos experimentales ha sido capaz de provocar esas diferencias.

A continuación se muestran los porcentajes y frecuencias de cada agrupación en las diferentes fases:

	PRETEST		POSTEST		RECORDA	
	%	n	%	n	%	n
EB	35.6	39	89.7	39	95.2	21
EM	83.3	48	97.9	48	96.9	33
CA	100	29	90.1	38	80	10
CM	63	11	82.6	10	66.7	8

Tabla 6.3.14. Porcentaje de alumnos que responden en cada fase de la investigación

Parece ser que en los únicos grupos en los que se ha producido una evolución deseable en la aparición de respuestas a esta cuestión es en los grupos experimentales. Si el alumnado no ha sido capaz de asimilar la nueva información y reestructurar sus ideas, difícilmente será capaz de poder contestar a una cuestión que antes de la docencia ya dejó de contestar. Por el contrario, aquellos alumnos que han trabajado de una forma diferente a la tradicional son capaces de contestar. Tal y como se estudiará en los apartados sucesivos además de contestar, la mayoría lo hacen de forma correcta y utilizando términos y expresiones conceptualmente correctas.

En los siguientes apartados analizaremos cada una de las categorías.

Categoría Información – No Información

En este apartado observaremos tan solo la dicotomía entre hacer referencia al concepto de información y no hacer referencia. Consideramos que es positivo y deseable que, cuando se interroga a alumnos sobre la función de los cromosomas, se haga de una forma u otra alusión a dicho término. Se observa que muchas de las respuestas concretan el tipo de información, refiriéndose a “información hereditaria”, “información genética”, “información de los caracteres” o “información que tenemos”. Algunos autores (Banet y Ayuso, 1995 y 2000; Lewis et al., 2000) han manifestado sus dudas sobre el verdadero significado que los alumnos atribuyen a estos términos, ya que en muchos casos suele ser diferente al que los profesores quieren dar. Las respuestas de nuestros alumnos coinciden con las obtenidas por estos autores, especialmente en el pretest, aunque en el postest la matización que el alumnado hace en sus respuestas permite observar una comprensión mayor sobre la función de los cromosomas.

Se produce un incremento de respuestas que mencionan la información desde el pretest al postest en todos los tratamientos salvo en el CA, que presenta un descenso desde el 100% del pretest al 80% del postest. En los grupos experimentales el incremento desde el pretest al postest es mayor que en el

CM, especialmente en EB que es del 38.5% siendo en EM del 10.4%, mientras que en el control citado es del 8.7%. Aunque en el grupo control medio había un porcentaje de respuestas deseables en el pretest superior al del grupo Experimental Bajo, en el postest hay más respuestas que hacen referencia al concepto de información en el grupo EB, manteniéndose esta tendencia también en la fase de recordatorio. Por tanto, parece observarse una mejora más significativa en los grupos sometidos al tratamiento experimental. El hecho de que en la agrupación EB, que es un grupo que partía antes de la instrucción de un nivel mayor de concepciones alternativas que el grupo CM, se observe una mejor tendencia, nos hace pensar nuevamente en la eficacia del tratamiento experimental.

A continuación podemos observar la evolución de las respuestas que hacen referencia al concepto de información.

	PRETEST		POSTEST		RECORDATORIO	
	%	n	%	n	%	n
EB	15.4	39	53.9	39	71.4	21
EM	52.1	48	62.5	48	63.6	33
CA	100	11	80	8	80	8
CM	39.1	18	47.8	22	53.3	8

Tabla 6.3.15. Porcentaje de alumnos que hacen referencia al concepto de información

Categoría Científica – No Científica

Como dijimos con anterioridad, esta categoría es especialmente significativa para apreciar el impacto de la docencia, aunque el apartado siguiente (Categoría Científica Correcta) aún lo es más. No cabe duda de que tras haber trabajado los conceptos y procedimientos referidos a genética, se produce una mayor referencia a términos científicos en todos los grupos.

Cuando hablamos de términos científicos nos referimos a cualquier concepto biológico correctamente aplicado. En la agrupación Control Medio nos encontramos con respuestas en el postest como éstas:

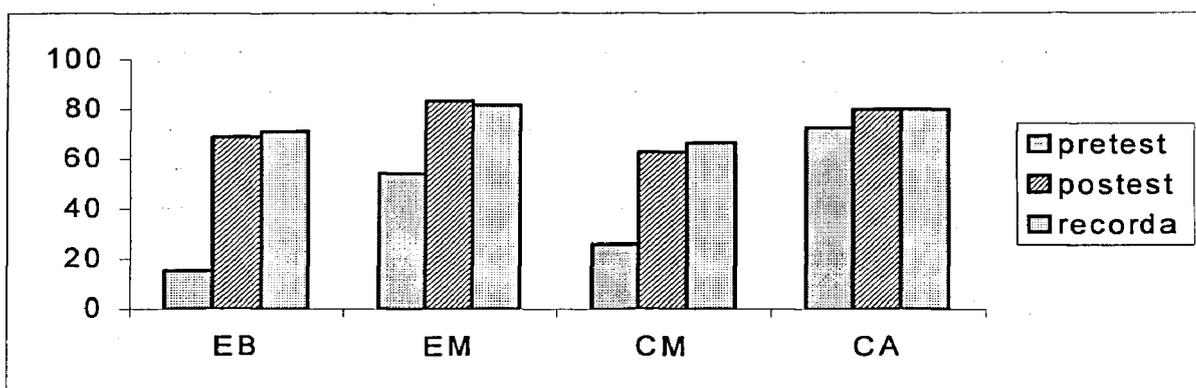
- *“Agrupan un trozo de ADN”*
- *“Para hacer la mitosis”*
- *“Ayuda al ADN en su función hereditaria”*

Este tipo de respuesta ha sido clasificada como científica ya que utiliza términos implicados en el conocimiento de la genética, aunque de forma incorrecta. En este apartado queremos tan solo hacer mención al uso de dichos términos, sin entrar en profundidad en su corrección, aunque podemos adelantar que en los grupos Control existen bastantes respuestas incorrectas.

En el grupo Experimental Bajo hay respuestas en el postest que también usan términos científicos como por ejemplo éstas:

- *“Contener información a través de los genes”*
- *“Transmitir la información genética”*
- *“Transmitir los caracteres hereditarios”*

Creemos importante ver la evolución en términos de porcentaje y comparativamente entre los tratamientos, ya que el uso de términos científicos puede ser debido a la intervención didáctica. En este sentido, es de destacar la evolución experimentada en el grupo EB, ya que se ha pasado de un 15.4% en el pretest a un 69.2% en el postest, produciéndose una retención importante, ya que en el recordatorio aparece un valor incluso superior al del postest, concretamente un 71.4%. En el EM se alcanzan valores que van desde el 54.2% del pretest hasta el 83.3% del postest, mientras que en el recordatorio se produce un ligero descenso (81.8%). En el grupo CM también hay mejora aunque no es tan importante como en los grupos experimentales, y aunque en el grupo EB se alcanza un porcentaje de respuestas científicas en el postest ligeramente superiores a las de CM, en el grupo experimental hay un 53.8% de mejora frente a un 36.9%. Por el contrario, en el grupo CA se produce un nivel conceptualmente correcto de partida bastante alto, pero apenas hay incremento en el postest, del 72.7% al 80%.



Gráfica 6.3.10. Porcentaje de alumnos que utilizan términos científicos en sus respuestas.

Por tanto, se produce una evolución positiva en todos los grupos, aunque es cuantitativamente mayor en el grupo EB y CM, mientras que apenas observamos una tendencia a reestructurar las ideas en los alumnos del grupo CA, pero hay que tener en cuenta que el nivel de partida de esta agrupación era muy elevado. Aunque el grupo EM alcanza los valores máximos en el postest, ya partía de un nivel superior a EB y CM y quizá por ello tan sólo haya una mejora del 29.1%. Por tanto, los resultados del análisis de esta categoría nos indican que el tratamiento experimental y el tratamiento control han sido capaces de modificar los planteamientos conceptuales detectados en el pretest, aunque la evolución de cada agrupación ha sido dispar.

Categoría Científica Correcta – Científica no Correcta

En esta categoría se produce una evolución similar a la estudiada en el punto anterior y esto es muy significativo. No nos basta con determinar respuestas que aludan a términos científicos, sino que además queremos que sean conceptualmente correctas. Por eso este apartado tiene una importancia extrema a la hora de evaluar nuestra propuesta didáctica.

En los dos grupos experimentales la evolución desde el pretest al postest es superior a los grupos control, hasta el punto que en CA se produce un retroceso, con menos respuestas deseables en el postest y aún menos en el recordatorio, si bien es cierto que en el recordatorio del grupo CM se produce un importante incremento. Este incremento en CM se correlaciona con la positiva evolución que se detectó en el índice de la red y que fue discutida en apartados anteriores.

Mientras que el incremento de respuestas científicas correctas en el grupo EB es del 33.4% y en EM del 25%, en CM es tan solo del 17% y en CA se da un retroceso del -9.1%.

A continuación podemos ver los porcentajes y las frecuencias de respuestas consideradas científicas y correctas de cada tratamiento didáctico.

	PRETEST	POSTEST	RECORDATORIO
	%	%	%
EB	5.1	38.5	61.9
EM	27.1	52.1	36.4
CA	72.7	63.6	50
CM	13	30	53.3

Tabla 6.3.16 Porcentaje de respuestas científicas correctas en las diferentes agrupaciones.

En el apartado anterior discutimos los resultados de las referencias científicas que hacían los alumnos en el cuestionario y detectamos una mejora en tres agrupaciones, pero no en el Control Alto. Se apuntaba una cierta tendencia a una mejora relativa en los grupos experimentales que ahora puede afirmarse. En los dos grupos experimentales los alumnos reestructuran sus ideas y las hacen más próximas al conocimiento científico correcto y lo hacen de manera más evidente que en los grupos control. Es cierto que, en el postest, en el grupo CM también se observa una mejora, pero es menor que en los dos grupos experimentales, especialmente destacable cuando comparamos EB que experimenta un incremento del 33.4% frente a un 17% del grupo CM, inicialmente de nivel conceptual superior. El grupo CA, de mayor nivel inicial, continúa siendo la agrupación que presenta un porcentaje mayor, aunque se ha producido un descenso respecto al pretest. Estos datos apuntan a que la docencia tradicional puede ser capaz de producir una reestructuración de las concepciones del alumnado sobre la función de los cromosomas, pero nuestra

propuesta está demostrando ser más potente, ya que es capaz de permitir un incremento mayor de alumnos con respuestas científicamente correctas.

En el recordatorio se produce un retroceso hacia concepciones detectadas en el pretest en los grupos EM y CA, mientras que en EB y CM el porcentaje de respuestas correctas es incluso superior al que existía en el postest. Esto nos hace pensar que ninguno de los dos modelos de enseñanza ha sido capaz de producir retención en el total de alumnos de cada tratamiento didáctico.

Complejidad y corrección de las respuestas

Entre las respuestas dadas por el alumnado que pueden considerarse científicamente correctas, encontramos alguna que han sido más ampliamente desarrolladas y con mayor complejidad y riqueza. Este tipo de respuesta que podemos calificar de más sofisticada o más elaborada ha sido cuantificada frente a las respuestas igualmente correctas, pero más sencillas en sus planteamientos. Es de esperar que alumnos que experimenten un aprendizaje significativo muestren respuestas conceptualmente correctas y preferentemente con mayor grado de complejidad y elaboración.

En el pretest, apenas aparecen respuestas correctas y elaboradas, salvo en el grupo CA donde un 36.4% lo son. En el grupo EB y CM no hay ninguna y en el EM hay un 6.2%.

En el postest, el grupo CA se mantiene en un 36.3%, lo cual es sorprendente si tenemos en cuenta que partían de un nivel conceptualmente más elevado que los demás y que han recibido docencia.

El grupo CM se mantiene como en el pretest, es decir, después de la docencia no hay ninguna respuesta correcta elaborada, aunque sí se produce un incremento de respuestas correctas no elaboradas, desde el 41.3% al 65.2%.

En el grupo EB se pasa de un 0% a un 17.9% de respuestas elaboradas. Es importante señalar que esta agrupación era la que tenía un porcentaje más elevado de respuestas incorrectas en el pretest (87.2%) y que en el postest se ha producido una mejora del 43.6%, frente a un 16.6% del grupo EM y un 23.9% del grupo CM.

Si tenemos en cuenta que el grupo EB es el que partía de un nivel inferior por lo que se refiere a las concepciones conceptualmente correctas sobre la función de los cromosomas y de un 87.2% de respuestas incorrectas se pasa a un 43.6%, podemos decir que es la agrupación en la que mayor impacto ha ejercido la propuesta didáctica. No obstante, la cantidad de respuestas elaboradas se encuentra por debajo del grupo experimental medio, pero en ambos casos a gran distancia del grupo CM, que no presenta ninguna respuesta correcta elaborada.

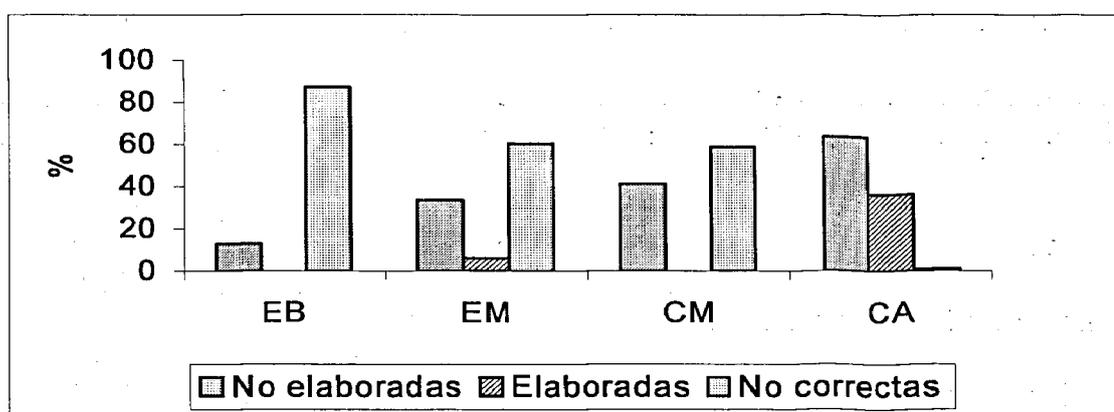
Estos datos nos reafirman en la idea ya manifestada con anterioridad en el sentido de la mayor eficacia de nuestra propuesta didáctica. Si grupos que

partían de una misma base conceptual se diferencian tanto en el postest, la existencia de un enfoque diferente en la docencia es la responsable de las diferencias observadas.

En los dos grupos experimentales se produce un incremento similar de respuestas correspondientes a concepciones correctas y elaboradas, concretamente 17.9% en EB y 18.8% en EM.

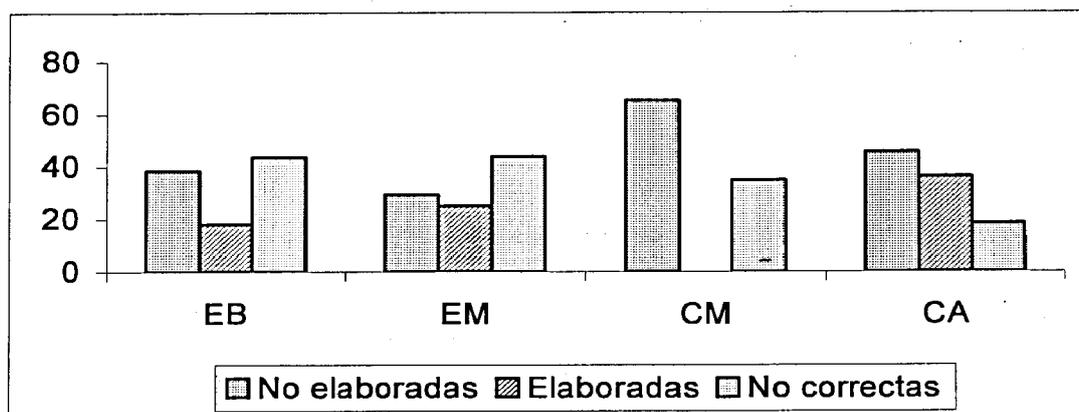
Lamentablemente se produce un descenso en el recordatorio en los dos grupos experimentales, mientras que en el grupo CM aparece sorprendentemente un 20% de respuestas correctas elaboradas, tal vez por las razones explicadas en apartados anteriores. En el grupo CA tan solo una respuesta es considerada correcta elaborada en esta tercera fase. Este resultado sorprendente en el recordatorio de CM también fue observado en la categoría *Científica Correcta*.

A continuación mostramos gráficamente las diferencias en las respuestas del alumnado tanto en el pretest como en el postest.



Gráfica 6.3.11. Porcentaje de respuestas en el pretest según el grado de complejidad de la respuesta

En la gráfica 6.3.11. puede observarse claramente la nula presencia de respuestas elaboradas en los grupos EB y CM. Son relativamente abundantes en CA y en menor medida en EM. En los dos grupos experimentales y en el control bajo abundan las respuestas no correctas.



Gráfica 6.3.12. Porcentaje de respuestas en el postest según el grado de complejidad de la respuesta

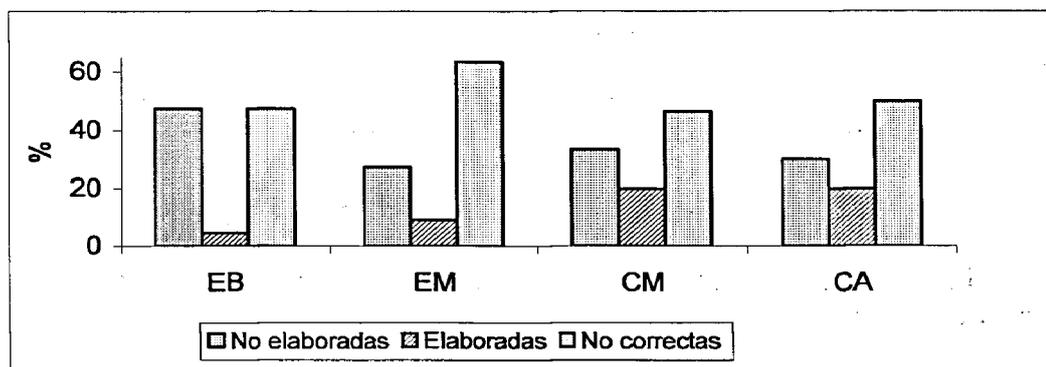
A diferencia del pretest, las respuestas elaboradas se hacen mucho más presentes en los dos tratamientos experimentales simultáneamente a un descenso de las respuestas incorrectas. Siguen sin aparecer respuestas elaboradas en CM y sorprendentemente, aparecen ahora respuestas no correctas en el grupo CA, tal vez debidas a la confusión que la docencia pueda haber causado en estos alumnos. Sin embargo, en los grupos experimentales hay una presencia notable de elaboración en las respuestas, indicación de que el aprendizaje puede ser más significativo.

A modo de ejemplo mostramos algunas de las respuestas obtenidas en el postest que han sido categorizadas de esta manera:

- *“Contienen información genética para que las células puedan llevar a cabo su función”*
- *“Pasan la información de padres a hijos. Contienen la información que utilizan las células”*
- *“Contener información y transmitirla a los descendientes”*
- *“Guardan información hereditaria y dicen como ha de ser el individuo”*

Varios meses después de la docencia los resultados varían de una manera notable, tal y como puede apreciarse en la gráfica 6.3.13. Hay un porcentaje importante de respuestas no elaboradas en todas las agrupaciones y también un incremento notable de las respuestas no correctas. Las respuestas elaboradas se encuentran en los grupos control, lo que parece indicar una mayor eficiencia del modelo tradicional en conseguir retención en el alumnado. Volvemos a encontrar las respuestas de baja complejidad y con muchas de las concepciones ya detectadas en el pretest y que se refieren a la confusión sobre la función de los cromosomas y el concepto de información hereditaria. Se han detectado también confusiones entre el concepto de cromosoma y su papel como elemento que induce la división de la célula. Estos resultados son coincidentes con los hallados por Banet y Ayuso (1995), Bahar et al. (1999) y Lewis et al. (2000) en detección de concepciones alternativas antes de la instrucción. Sin embargo, estos autores no plantean en sus trabajos la retención varios meses después de la docencia. Los resultados obtenidos nos

hacen pensar que nuestra propuesta didáctica no ha sido capaz de provocar la retención deseada en el alumnado.



Gráfica 6.3.13. Porcentaje de respuestas en el recordatorio según la complejidad de la respuesta

Categoría Información – Científica – Correcta

Consideramos que la segunda respuesta en orden de corrección sería la que pudiera incluirse en estas categorías de la red sistémica. Por esta razón hemos comparado los alumnos que confeccionaban respuestas incluidas en esta categoría en las diferentes agrupaciones.

De entrada el grupo CA vuelve a ser el que presenta resultados mejores en el pretest pero de nuevo se produce el descenso observado en las categorías anteriores en las fases sucesivas. En los tres momentos de estudio el porcentaje de respuestas deseables desciende desde el 72.7% en el pretest, al 63% en el postest y el 50% del recordatorio.

En los dos grupos experimentales hay un incremento significativo del pretest al postest, mucho mayor que en el grupo CM. Sin embargo, se repite la situación ya observada de descenso en el recordatorio en el grupo EM.

Los resultados figuran en la siguiente tabla:

	PRETEST	POSTEST	RECORDATORIO
EB	5.1	38.5	47.6
EM	20.8	45.8	27.3
CA	72.7	63	50
CM	8.7	26	40

Tabla 6.3.17. Porcentaje de respuestas de la categoría Información-Científica-Correcta

Se produce una mejora en el postest en las agrupaciones experimental, siendo del 33.4 % en el EB y del 25 % en el EM y también en CM es del 17.3%,

mientras que en el grupo CA se produce todo lo contrario. Esta diferencia es especialmente importante en EB, ya que en el pretest se obtenían resultados bajos y similares a los de CM, pero en el postest son bastante mejores en el grupo experimental.

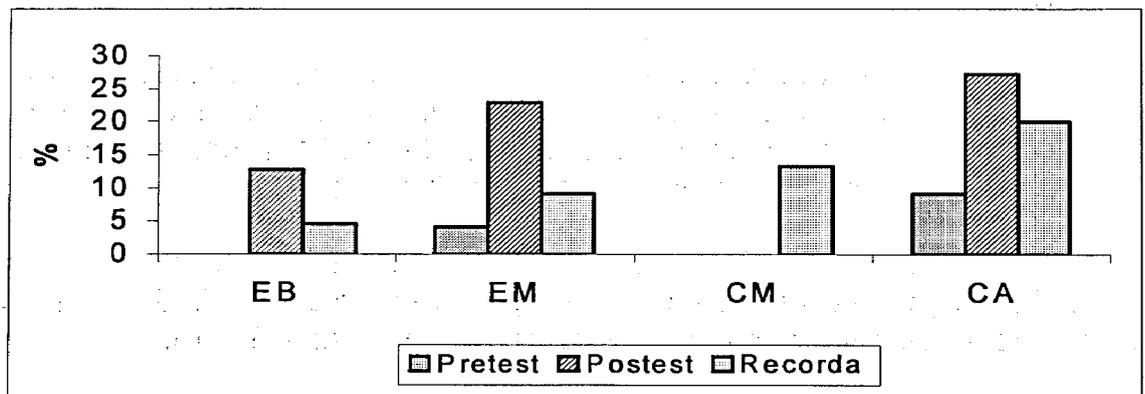
Categoría Información – Científica – Correcta – Elaborada

Las respuestas que además de tener la corrección conceptual tengan además un grado de sofisticación en la exposición del concepto, merecen una atención especial, ya que implican un aprendizaje significativo y de calidad. Por esta razón hemos llevado a cabo este último análisis para verificar si ciertamente nuestra propuesta didáctica ha sido realmente válida. En apartados anteriores se demostró su eficacia en determinadas categorías de la red sistémica y ahora veremos qué sucede con la categoría realmente deseable.

En el grupo CA vuelve a darse la misma circunstancia descrita con anterioridad, ya que el 9.1 % de los alumnos presentan esta respuesta. No obstante, es un porcentaje muy bajo en comparación a los obtenidos en otras categorías. En las otras agrupaciones solo hay respuestas en el pretest en el grup EM, donde el 4.2% del alumnado realiza una respuesta de esta categoría.

En el postest, sigue sin aparecer ninguna respuesta en CM mientras que en EM se pasa al 22.9%, es decir, prácticamente una de cada tres respuestas, y en el EB el 12.8%. En el grupo CA se obtiene un valor del 27.3%.

En el recordatorio vuelven a producirse las anomalías descritas anteriormente, ya que el grupo CM tiene un sorprendente 13.3% de respuestas deseables, a pesar de no haber tenido ninguna en el postest.



Gráfica 6.3.14. Porcentaje de alumnos que responden a *Información-Científica-Correcta-Elaborada*

Podemos observar que el porcentaje de respuestas de máximo nivel de corrección en el postest corresponde a los grupos experimental medio y control alto. Destaca el grupo CA que ya tenía un nivel inicial superior al resto y que lo confirma en el postest, aunque en el recordatorio desciende, pero manteniéndose en niveles superiores a los del pretest. En el grupo CM no hay ninguna respuesta de esta categoría en el postest mientras que en el grupo EB, que partía de un nivel inferior, sí hay respuestas de máximo rigor. Creemos importante señalar que en las dos agrupaciones experimentales se ha producido la aparición de respuestas conceptualmente correctas y elaboradas, mientras que en los grupos control no ha habido el mismo comportamiento, ya que el grupo CM no experimenta mejora y el CA sí lo hace.

6.3.6. Índice de Mejora

El valor máximo de la red sistémica es de 8, por lo que la expresión que nos permite calcular el índice de mejora (ver capítulo 5) es la siguiente:

$$\text{Índice de mejora (IM)} = \frac{\text{POSTEST} - \text{PRETEST}}{8 - \text{PRETEST}}$$

Es de esperar que si se ha producido un cambio en las concepciones del alumnado, los valores del índice de la red sistémica sean superiores en el postest y por tanto el índice de mejora sea alto.

En primer lugar procederemos a comprobar la normalidad de la variable Índice de Mejora, de la misma manera que en apartados anteriores. Aplicando el test de Lilliefors obtenemos un valor del estadístico de 0.302 y con 144 grados de libertad se obtiene una probabilidad muy inferior a 0.001, por lo que no sigue una distribución normal y tenemos que aplicar tests no paramétricos para el análisis estadístico.

En primer lugar determinaremos si existen diferencias significativas entre las agrupaciones respecto del índice de mejora. Aplicando el test de Kruskal-Wallis, obtenemos un valor del estadístico de 8.314 y una probabilidad de 0.040, es decir, las cuatro agrupaciones se diferencian.

Aplicando el test de la U de Mann-Whitney podemos determinar si existen diferencias significativas entre los grupos respecto del índice de mejora, obteniéndose los resultados que se observan en la tabla 6.3.18.

	Experimental Medio	Control Alto	Control Medio
Experimental Bajo	U=878.5 p=0.621 No hay diferencias	U=143.5 p=0.092 No hay diferencias	U=587.5 p=0.006 Sí hay diferencias
Experimental Medio		U=197.5 p=0.191 No hay diferencias	U=881.0 p=0.089 No hay diferencias
Control Alto			U=210.5 p=0.378 No hay diferencias

Tabla 6.3.18. Diferencias del Índice de Mejora entre las agrupaciones.

Las únicas agrupaciones en las que aparecen diferencias claramente significativas son entre el grupo EB y CM. Entre el resto de agrupaciones no hay significación, aunque entre EB y CA y entre EM y CM se hallen próximas. Observando los datos de los cuartiles podemos complementar los resultados obtenidos en el test de la U de Mann-Whitney.

	Percentil 25	Mediana	Percentil 75
EB	0	0.5	0.87
EM	-0.15	0.37	0.87
CA	-4	0	1
CM	0	0	0.52

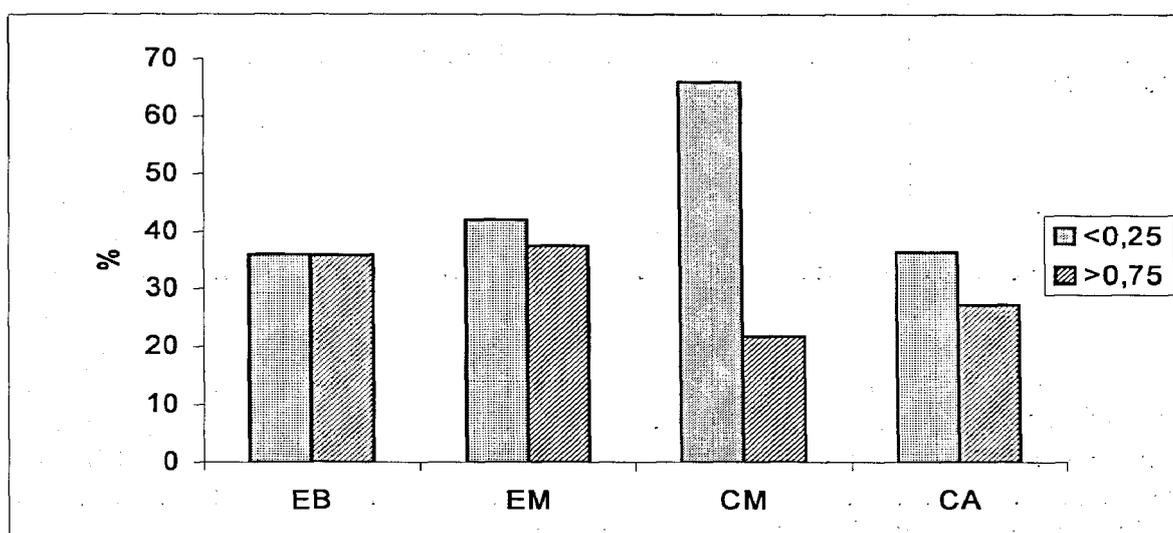
Tabla 6.3.19. Estadística descriptiva del Índice de Mejora

La mediana de los dos grupos experimentales es bastante mayor que la de los grupos control, lo que nos indica que los índices de mejora de las agrupaciones EM y EB son superiores a los de las agrupaciones control. Aunque no puede decirse que los valores de dichas medianas sean valores altos, lo son mucho más que las medianas control, que son de 0. Por tanto, es en los alumnos en los que se ha implementado nuestra propuesta didáctica donde se ha producido un índice de mejora mayor, siendo esto un claro indicador de la mayor eficacia de la secuencia experimental que la control.

Podemos decir que las diferencias observadas entre el grupo EB, que es el que partía de un nivel más bajo, y el grupo CM son debidas a los mejores valores observados en el grupo experimental. Sin embargo, llama la atención que con estos valores no haya diferencias claramente significativas entre las agrupaciones EB y CA y entre las agrupaciones EM y CM. No obstante, los valores obtenidos en el test de U de Mann-Whitney se encuentran próximos a la significación. De hecho, Ayuso (2000) llega a considerar significativos

resultados con probabilidad de hasta 0.10. Siguiendo este criterio, el grupo EB se diferenciaría de CA y el grupo EM de CM. No obstante, nosotros consideramos como límite de la significación un valor de la probabilidad de 0.05.

En la gráfica 6.3.15 podemos observar cómo se distribuyen los índices más bajos (menores de 0.25) y los más altos (mayores de 0.75) en las tres agrupaciones.



Gráfica 6.3.15. Distribución de los índices de mejora en las agrupaciones.

Podemos observar que la distribución de los índices de mejora peores (<0.25) y los mejores (>0.75) en la agrupación EB es prácticamente idéntica. En el grupo experimental medio hay un ligero predominio de índices de mejora inferiores a 0.25.

En los grupos Control predominan los índices inferiores a 0.25, especialmente en CM, donde representan el 66% del alumnado. En el grupo CA también encontramos más porcentaje de índice de mejora bajos, aunque las diferencias no son tan acusadas como en el grupo CM.

Podemos decir que en los grupos experimentales no se ha producido toda la mejora deseable, especialmente si lo comparamos con aspectos estudiados en otros capítulos. Ahora bien, si lo comparamos con los grupos control, vemos que hay muchos más alumnos con índice de mejora superior a 0.75 en los grupos sometidos a nuestra propuesta didáctica.

Teniendo en cuenta los resultados observados gráficamente, las medianas de cada agrupación y los resultados del test estadístico, podemos afirmar que en los grupos experimentales se ha producido una mejora superior a la detectada en los grupos control. Esta mejora es estadísticamente significativa cuando comparamos EB con CM, es decir, un grupo experimental que partía de un nivel bajo con otro grupo control que partía de un nivel superior, y

satisfactoriamente diferente cuando comparamos EB con CA y EM con CM. El hecho de que los dos grupos control no se diferencien y sus medianas sean idénticas y de valor 0, nos indica que el impacto de la docencia ha sido más limitado que en los grupos experimentales.

6.4. LOCALIZACIÓN DE LOS GENES

Para analizar los resultados de esta cuestión hemos seguido el mismo patrón utilizado al analizar las preguntas que se formuló al alumnado en la que se pedía que dibujasen dónde se encuentran los cromosomas (ver apartado 6.2. del presente capítulo). En este caso profundizamos en las creencias que existen sobre la ubicación de los genes, fuente de errores conceptuales. Diversos estudios han detectado confusión en términos como gen, alelo y cromosoma y de qué manera se relacionan (Kindfield, 1991; Pashley, 1994; Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lewis et al., 2000). Nuestros modelos didácticos en tres dimensiones utilizados en el aula para explicitar el concepto y la ubicación de los genes, tenían como objetivo que las confusiones existentes al respecto pudieran ser clarificadas y las concepciones erróneas detectadas en los alumnos se ajustasen a la corrección científica. Muchos de los dibujos que aparecen en los libros de texto pueden ayudar a confundir al alumnado y no siempre ayudan a que ellos puedan ir construyendo sus propias ideas sobre la genética. Por ejemplo, la diferente forma de representar los cromosomas o presentar las cromátidas hermanas con coloraciones distintas puede hacer pensar que son diferentes. De hecho, incluso se han detectado errores en algunos de las representaciones gráficas presentes en los libros de texto (Cho et al., 1985; García Cruz, 1990; Gandara et al., 2002; presente memoria).

6.4.1. Red sistémica pretest

La primera diferencia que encontramos en las respuestas dibujadas de los alumnos es que algunos representan la célula y otros no. Es conocida la creencia existente en algunos alumnos de que no todos los seres vivos están formados por células (Gené y Gil, 1982; Caballer y Jiménez, 1992; Banet y Ayuso, 1995, Wood-Robinson et al., 1998) y ésta pudiera ser una razón por la que no se dibujan células. También encontramos algunas respuestas que consideramos incongruentes o bien que sencillamente dejan la pregunta sin contestar. Una de las razones por las que puedan dejar sin contestar la pregunta algunos alumnos es la carencia de prerequisites conceptuales y otra que, aunque conozcan la existencia de los genes, no los consideren presentes en todos los organismos, tal y como nos muestran Banet y Ayuso (1995) y Wood-Robinson et al. (1998) en los estudios referidos anteriormente.

Por esta razón hemos diferenciado en primera instancia entre *No representa la célula* y *Representa la célula*. A partir de la categoría *No representa la célula* vemos que aparecen dibujadas otras estructuras que bien recuerdan elementos celulares y pueden ser identificables o bien los alumnos especifican

que se trata de determinada parte celular. Diferenciaríamos tres categorías en función de lo que han dibujado, que son: *Representa ADN*, *Representa cromosomas* y *Representa ADN y cromosomas*. Este tercer aspecto es importante ya que si el alumnado es capaz de relacionar correctamente ADN y cromosomas, implica una corrección conceptual a tener en cuenta. Los términos de cromosoma y ADN resultan relativamente más familiares a los alumnos que los de gen y algunos pueden localizar los genes en dichas estructuras. Ahora bien, tal y como indican algunos estudios (Kindfield, 1991; Banet y Ayuso, 2000, Lewis y Wood-Robinson, 2000), los alumnos no sitúan correctamente los genes en los cromosomas, ya que existe gran confusión en identificar cromosomas homólogos y cromátidas hermanas. Por otra parte, la visualización de los cromosomas se hace durante la división celular, mitosis y meiosis, procesos no bien conocidos por el alumnado (Stewart y Dale, 1989).

La categoría *Representa la célula* ha sido subclasificada en dos aspectos: *Sexual* y *Somática*. En este caso se repite el patrón ya detectado anteriormente (ver apartado 6.2. del presente capítulo), en el sentido de que muchos alumnos consideran que las células sexuales son las únicas portadoras de información genética, coincidiendo estos resultados con los detectados por Banet y Ayuso (2002). Entre los que han representado la célula somática, también podemos obtener dos tipos de representación: *Con núcleo* - *Sin núcleo*. En este apartado no hay mucha más complejidad en la representación, mientras que en el referente a la no representación de la célula pueden obtenerse más niveles de ordenamiento de las respuestas.

Efectivamente, las creaciones que representan ADN o cromosomas permiten una categorización más exhaustiva. En este sentido, se observan creaciones que dibujan una doble hélice, que delimitan fragmentos de una estructura que definen como cromosoma, dibujan dos cadenas o bien una sola y toda una serie de clases de respuestas que permiten situar perfectamente cada creación y nos da una idea bastante aproximada sobre las concepciones de los alumnos. Algunas de las creaciones del alumnado iban acompañadas de alguna referencia o aclaración escrita que denotaba confusión entre el concepto de gen y el de alelo, coincidiendo esta concepción con la detectada por diversos investigadores (Longden, 1982; Radford y Bird-Stewart, 1982; Pearson y Hughes, 1988; Lewis et al., 2000).

A continuación mostramos la red sistémica pretest obtenida en los dos tratamientos.

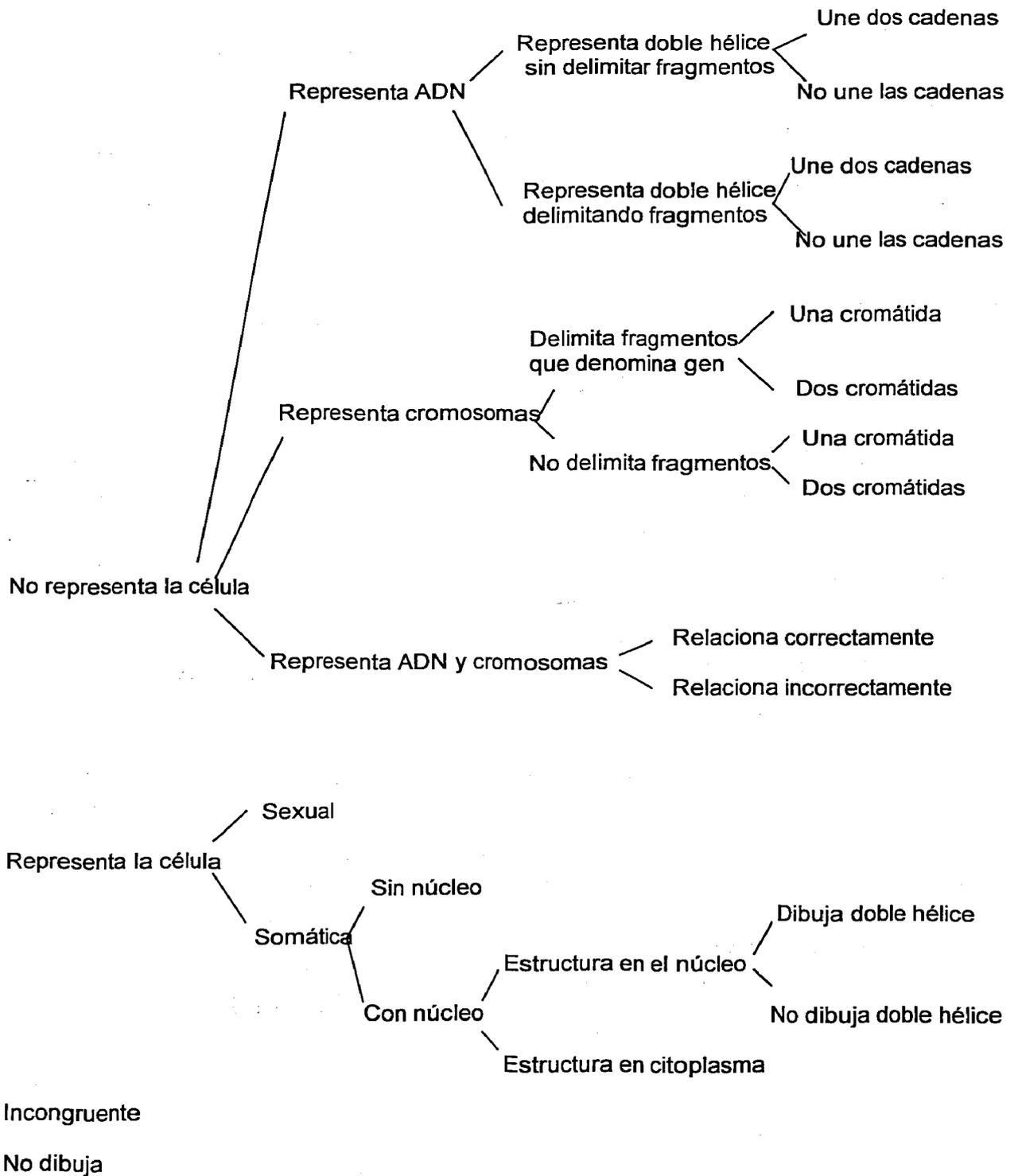
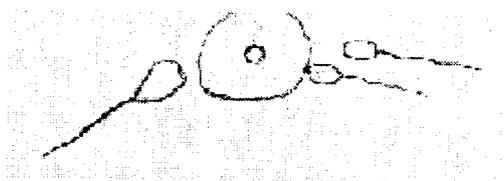


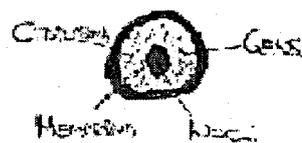
Figura 6.4.1. Red sistémica pretest control y experimental

Presentamos algunos ejemplos de dibujos correspondientes al pretest.

Ejemplos de los grupos Control



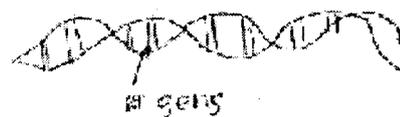
Sandra C.



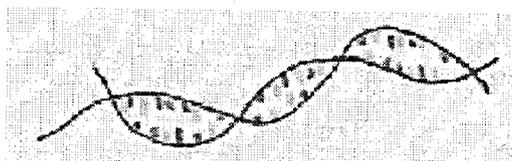
Oscar



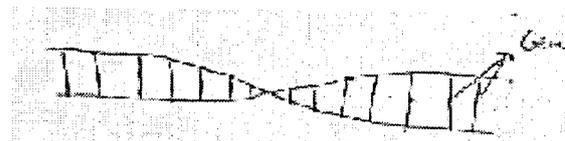
Elisabeth



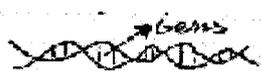
Víctor



Bea



Marcos

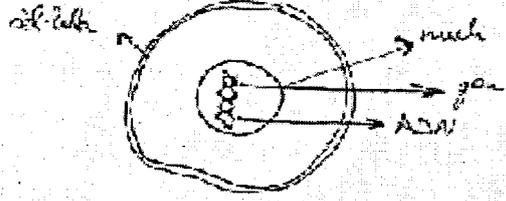


Rafael

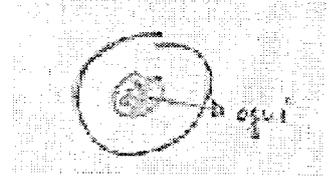


Sandra S.

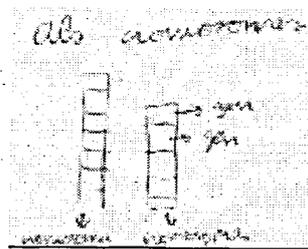
Ejemplos de los grupos Experimentales



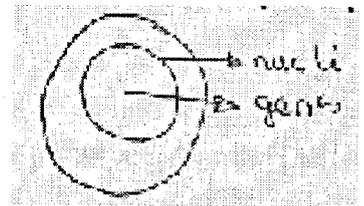
Gabi



Loli



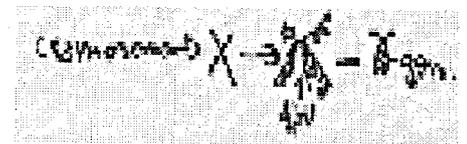
Neus



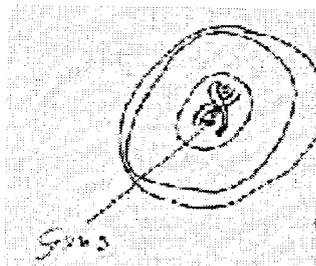
Adriana



Francisco



Jaume



Marc



Joel

6.4.2. Red sistémica postest

En el análisis de los dibujos del capítulo correspondiente a la cuestión *¿Dónde se encuentran los cromosomas? Haz un esquema o dibujo que lo muestre* (ver apartado 6.2. del presente capítulo) se pudieron establecer dos redes sistémicas correspondientes a cada uno de los tratamientos didácticos que se implantaron en el aula, el control y el experimental. En este apartado se ha obtenido una misma red sistémica postest que se ajusta a las creaciones de los alumnos en las dos agrupaciones. Esto quiere decir que cualquier creación de un alumno después de la docencia puede ubicarse en dicha red, lo cual no quiere decir que tenga la misma corrección. En este instrumento podemos encontrar categorías correctas científicamente y otras que no lo son tanto, pero en cualquier caso podemos conocer los esquemas conceptuales del alumnado. El análisis cuantitativo y cualitativo de la presencia de determinadas categorías en los grupos estudiados, nos indicará el éxito de un tratamiento u otro, o bien la bondad de los dos sistemas de enseñanza-aprendizaje.

Las dos categorías iniciales establecidas en el pretest continúan siendo válidas, es decir, que un primer nivel sería *No representa la célula – Representa la célula*. En la primera de ellas se vuelve a dar la circunstancia de que en el segundo nivel las categorías que se han establecido continúan siendo las mismas que en el pretest, es decir, *Representa ADN, Representa cromosomas, Representa ADN y cromosomas*. En la categoría en la que se representa la célula desaparecen los dibujos que ubicaban los genes en las células sexuales y todos lo hacen en las células somáticas.

A partir de este nivel de categorización, se repiten algunas que ya estaban presentes en el pretest y aparecen nuevas. Muchas de estas nuevas categorías hay que atribuirles al efecto de la docencia, ya que hacen referencia a conceptos que no se detectaron en el análisis de las creaciones del pretest, aunque persisten concepciones detectadas en el primer cuestionario. En los apartados posteriores estudiaremos si la frecuencia de dichas nuevas categorías, conceptualmente más correctas, se distribuye uniformemente o se concentra en alguna de las agrupaciones de alumnos. A continuación representamos la red sistémica completa con todos las subcategorías establecidas.

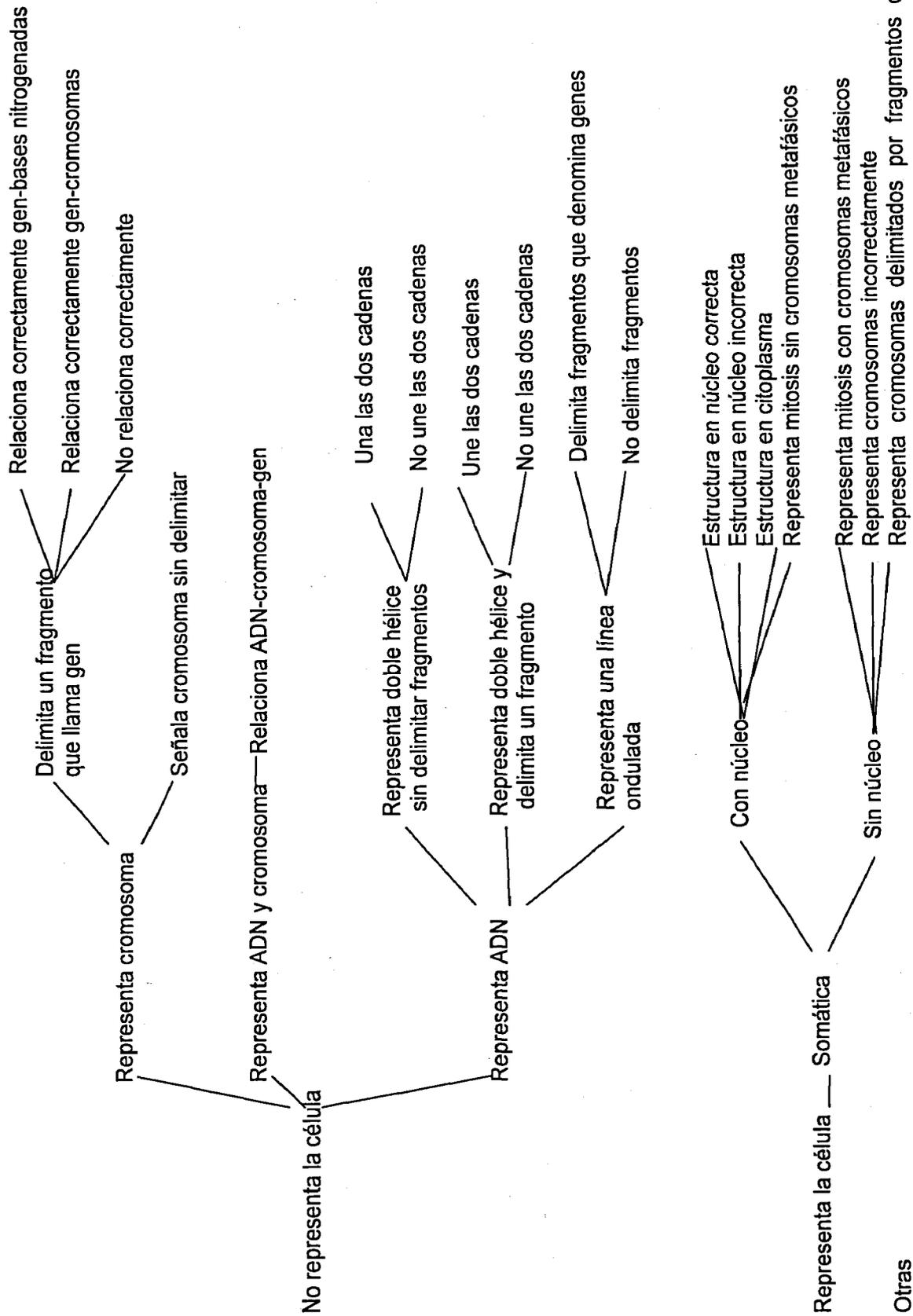
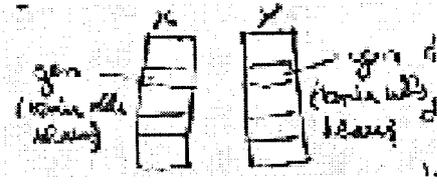


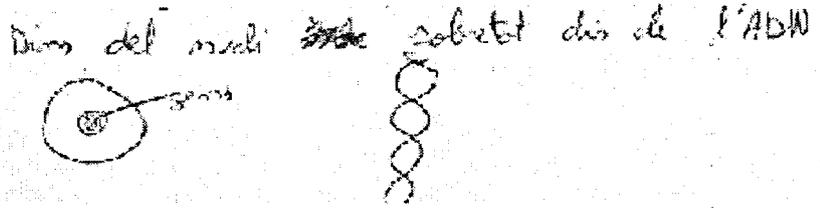
Figura 6.4.2.Red sistémica posttest

Mostramos algunos ejemplos de dibujos realizados por los alumnos en el posttest

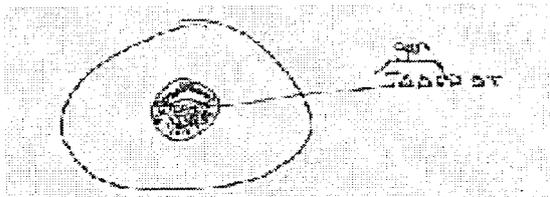
Ejemplos de los grupos Control



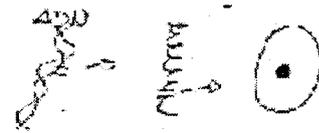
Elisabeth



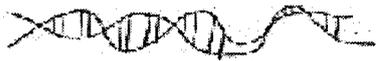
José Martín



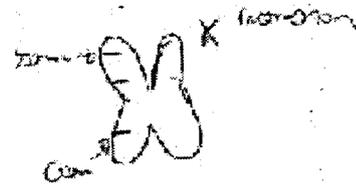
Rosa María



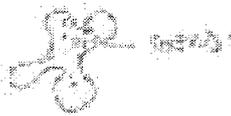
Marta



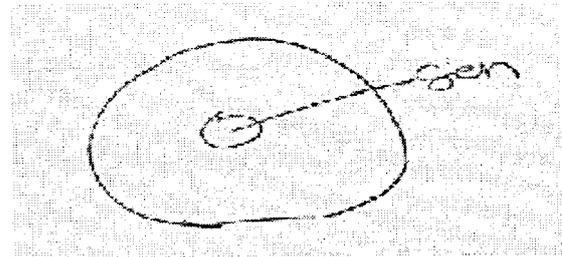
Maite



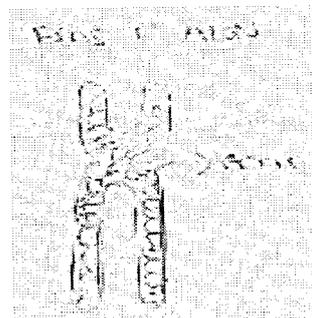
Beatriz



Sandra

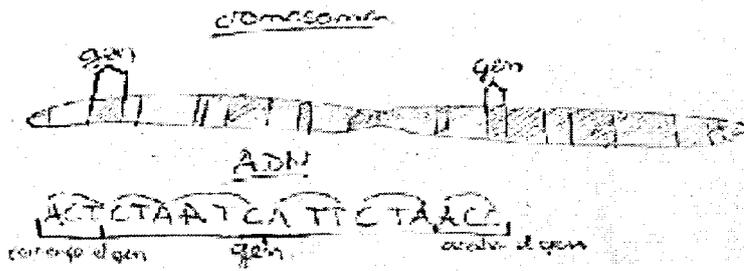


Antonio

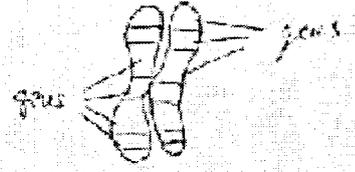


Estela

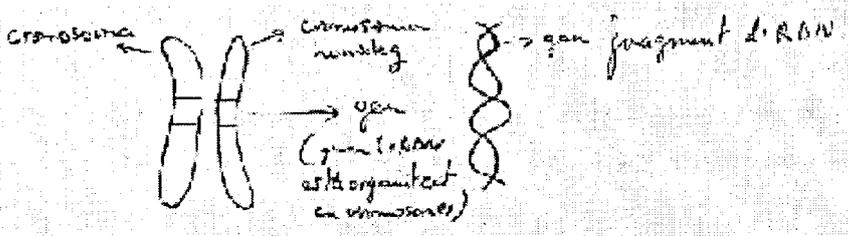
Ejemplos de los grupos Experimentales



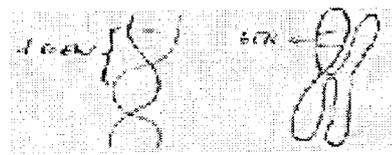
Ferran



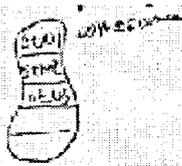
Loli



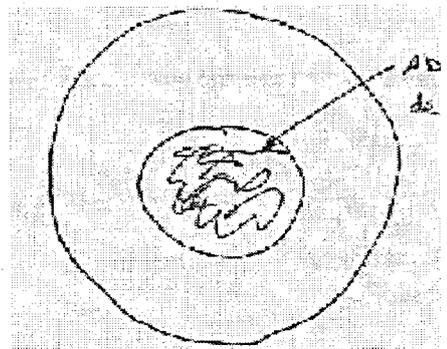
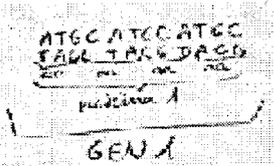
Gabriela



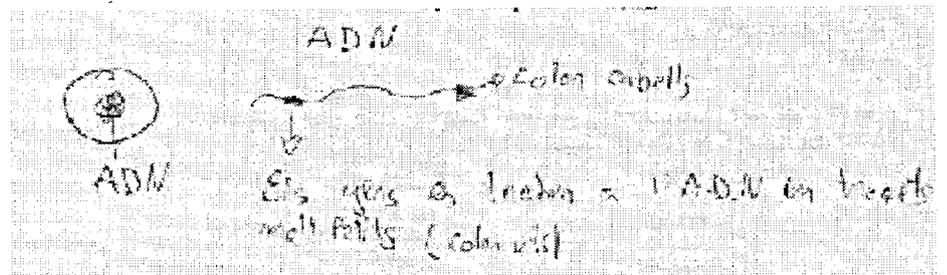
Rebeca



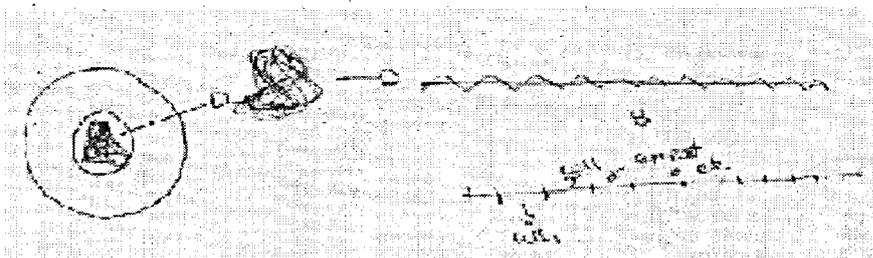
Neus



Joel



Eloy



Trini

6.4.3. Discusión de las redes sistémicas

1) Cuantificación de las categorías

Hemos cuantificado cada una de las categorías para poder realizar posteriormente análisis estadísticos. Cuanto más próxima sea la categoría al conocimiento científico mayor será la baremación.

Los valores que se han asignado son los siguientes:

- 1) Consideramos que la ubicación de los genes puede mostrarse de forma válida tanto representando la célula como sin hacerlo. Por ello valoramos ambos esquemas con una misma puntuación:

Representa la célula: 1

No representa la célula: 1

- 2) Aquellas representaciones que incluyan células somáticas pueden llevar a una corrección, mientras que las que sean sexuales, mostrando espermatozoides o bien indicando explícitamente que son óvulos o espermatozoides, no podemos considerarlas estrictamente correctas. En este sentido, hemos seguido el criterio de Ayuso y Banet (2002), que también han detectado que muchos alumnos localizan el material hereditario únicamente en las células sexuales y excluyendo la posibilidad que se encuentren en otro tipo de estructura biológica.

Representa célula somática: 1

Representa célula sexual: 0

- 3) Cuando representan células pueden hacerlo con núcleo o sin núcleo. La corrección del dibujo dependerá de cómo dibujan las estructuras en las que sitúan los genes, independientemente de si lo hacen dentro o fuera del núcleo. Por tanto ambas circunstancias pueden ser valoradas de la misma manera.

Célula con núcleo: 1

Célula sin núcleo: 1

- 4) Cuando los dibujos no indican células sino que aparecen otras creaciones, concretamente ADN y cromosomas, son correctas ambas, pero ponderamos más el hecho de que pueda relacionarse ambos conceptos. Algunas creaciones representaban por separado la molécula de ADN y cromosomas, mientras que otras además de hacer esto añadían comentarios o bien realizaban indicaciones para mostrar la relación de ambas estructuras.

Representa ADN: 1

Representa cromosomas: 1

Representa ADN y cromosomas: 2

Relaciona correctamente ADN y cromosoma: 2

- 5) Algunas creaciones dibujan el ADN como una doble hélice delimitando fragmentos que denominan genes y además pueden unir o no las dos cadenas de esa doble hélice. El hecho de hacer la unión implica conocer la estructura del ADN y la delimitación en fragmentos puede ser una aproximación al concepto de gen.

Delimita fragmentos en la doble hélice o en cromosoma: 2
Une las dos cadenas de la doble hélice: 1
No delimita fragmentos: 0
No une las dos cadenas : 0

- 6) El máximo grado de corrección conceptual puede venir dado por diferentes creaciones o detalles de presentes en los dibujos. En este sentido, la más alta valoración de las categorías la hemos dado a:

Relaciona correctamente ADN-cromosoma-gen: 3
Estructura en el núcleo correcta: 3
Representa correctamente cromosomas y los genes: 3

Algunas de las categorías son mutuamente excluyentes, ya que aunque tengan una valoración alta, pertenecen a subclasificaciones diferenciadas, como *Representa la célula – No representa la célula*. En todo caso la mayor valoración que puede tener la red sistémica establecida y que nos indicará un mayor grado de corrección conceptual es de 6 y la podemos encontrar en creaciones que presenten:

Representa la célula: 1
Representa una célula somática: 1
Representa una célula somática con núcleo: 1
Representa estructuras en el núcleo celular correctamente y denominadas con corrección: 3

Otra posibilidad es que no hayan representado la célula, como en esta situación:

No representa la célula: 1
Representa cromosomas: 1
Delimita fragmentos en el cromosoma representado: 2
Relaciona correctamente genes y cromosoma: 2

Por último, otra posibilidad de obtención de la máxima valoración sería:

No representa la célula: 1
Representa ADN y cromosoma: 2
Relaciona correctamente ADN-gen-cromosoma: 3

A partir de estas premisas se ha valorado cada una de las creaciones del alumnado en el pretest, en el postest y en el recordatorio. Es de esperar que después de la docencia ese valor sea mayor, pero para comprobarlo hemos aplicado una serie de test estadísticos que nos permitirán determinar si ha sido así y en qué grupos se ha producido.

2) Formación de las agrupaciones

Antes de realizar los test estadísticos que nos permitan determinar si existen diferencias entre los diferentes tratamientos didácticos, hay que comprobar si los diferentes grupos a los que se administró el cuestionario pueden considerarse una única agrupación.

Agrupación de los grupos control

Al comprobar si existen diferencias entre los cuatro grupos control, vemos que efectivamente existen ($\chi^2 = 13.072$; $p = 0.004$). Después de realizar los análisis estadísticos, el único grupo que se diferencia de los otros es el grupo C2, mientras que los otros grupos no se diferencian entre sí, tal como se observa en la tabla.

	C2	C3	C4
C1	U = 17.5 P = 0.001 Sí se diferencian	U = 99.0 P = 0.770 No se diferencian	U = 89.5 P = 0.293 No se diferencian
C2		U = 36.5 P = 0.007 Sí se diferencian	U = 44.5 P = 0.013 Sí se diferencian
C3			U = 120.5 P = 0.503 No se diferencian

Tabla 6.4.1. Agrupabilidad de los grupos control.

Por tanto, el grupo C2 no puede formar parte de la misma agrupación que el resto de grupos control. Sin embargo, los otros tres grupos control no presentan diferencias significativas entre sí, con lo que podemos decir que son agrupables y pueden constituir una nueva agrupación.

Las nuevas agrupaciones control son:

Control Bajo (CB): C1 + C3 + C4

Control Alto (CA): C2

La denominación de Control Bajo o Control Alto ha sido motivada por el análisis detallado de las creaciones del alumnado y su valoración en la red sistémica. El grupo C2 presentaba una mediana en el pretest de 2, mientras que en los otros

grupos control la mediana era 0 (ver tabla 6.4.2.). Por otra parte y estrechamente relacionado con este valor, el porcentaje de alumnos con valoración 0 en la red sistémica de los grupos Control Bajo es muy elevado (69.6%) , mientras que en CA es del 0%.

	C1	C2	C3	C4
Mediana	0	2	0	0
Percentil 25	0	2	0	0
Percentil 75	0.5	4	2.25	2

Tabla 6.4.2. Estadística descriptiva de los grupos control en el pretest.

Agrupación de los grupos experimental

Procedemos a comprobar si los cinco grupos experimentales pueden considerarse como uno solo con la prueba de Kruskal-Wallis, que nos indica que existen diferencias significativas entre ellos ($\chi^2= 14.107$; $p = 0.007$). Por tanto vamos a realizar el test de la U de Mann-Whitney dos a dos para detectar qué grupos se diferencian significativamente de los demás y hacer eventuales nuevas agrupaciones. En la tabla se muestran los resultados de dicho test.

	E2	E3	E4	E5
E1	U = 70.0 p= 0.015 Sí se diferencian	U = 76.5 p = 0.002 Sí se diferencian	U = 137 p= 0.771 No se diferencian	U = 144.5 p = 0.160 No se diferencian
E2		U = 110.5 p = 0.270 No se diferencian	U = 82.5 p = 0.047 Sí se diferencian	U = 122.5 p = 0.133 No se diferencian
E3			U= 93.5 p = 0.008 Sí se diferencian	U = 136.0 p = 0.021 Sí se diferencian
E4				U = 158.5 p = 0.322 No se diferencian

Tabla 6.4.3. Agrupabilidad de los grupos experimental.

Estudiando las diferencias existentes entre los diferentes grupos se observa que pueden hacerse dos grandes agrupaciones. En cada una de ellas situaremos grupos que no presentan diferencias significativas y que por tanto pueden tratarse como si de uno se tratara. Las nuevas agrupaciones son:

Experimental Medio (EM) = E1 + E4 + E5

Experimental Bajo (EB) = E2 + E3

Esta terminología es la misma utilizada en apartados anteriores y algunos de los grupos que conforman dichas agrupaciones también se correspondían con ellas. Sin embargo, hay grupos que en otros análisis realizados no se ajustaban a tal categoría.

Las dos agrupaciones se diferencian entre ellas por el nivel de partida, siendo algo superior en el Experimental Medio que en el Bajo. Aunque la mediana es la misma en las cinco agrupaciones experimentales (ver tabla 6.4.5.), el porcentaje de valoraciones 0 es superior en los grupos E2 y E3 (92.9% y 100% respectivamente); además los cuartiles nos indican que el rendimiento en estos grupos es menor. Por el contrario, en los grupos que conforman la agrupación Experimental Medio, sin ser satisfactorios, son significativamente diferentes (52.9% en E1, 64.7% en E2 y 72.7% en E5). Estos resultados iniciales de EM no podemos considerarlos tan positivos como para poder determinar que sea un grupo de nivel inicial Alto, como es el caso del grupo CA.

	E1	E2	E3	E4	E5
Mediana	0	0	0	0	0
Percentil 25	0	0	0	0	0
Percentil 75	3	0	0	4	1
% valoraciones 0	52.9	92.9	100	64.7	72.7

Tabla 6.4.5. Estadística descriptiva de los grupos experimental en el pretest.

6.4.3.1. Diferencias pretest-postest

Las hipótesis iniciales de la investigación señalan que en los grupos en los que se ha aplicado nuestra propuesta didáctica, los resultados obtenidos en el postest han de ser significativamente diferentes de los del pretest. Esto no quiere decir que en los grupos en los que se ha producido un aprendizaje por el modelo tradicional no se pueda producir, pero nosotros hipotetizamos que será mayor y significativo en los experimentales.

Para comprobarlo hemos utilizado el índice obtenido en cada alumno en la red sistémica, cuyo valor nos indica el grado de complejidad y corrección de las creaciones. Se ha utilizado el test de Wilcoxon y en la tabla siguiente se muestran los valores obtenidos.

	Estadístico	P	Mediana		Percentil 25		Percentil 75	
			Pretest	Postest	Pretest	Postest	Pretest	Postest
CB	-4.438	<0.001	0	3	0	0	2	5
CA	-0.240	0.810	2	3	2	2	4	4
EM	-5.954	<0.001	0	6	0	4	2.75	6
EB	-4.305	<0.001	0	6	0	0	0	6

Tabla 6.4.6. Diferencias entre el pretest y el postest en las diferentes agrupaciones.

En los dos grupos experimentales hay diferencias significativas después de la instrucción. En ambos casos se ha producido un incremento notable de la

mediana, en el sentido de que cuanto mayor es su valor, más cercano a la corrección (el máximo es 6).

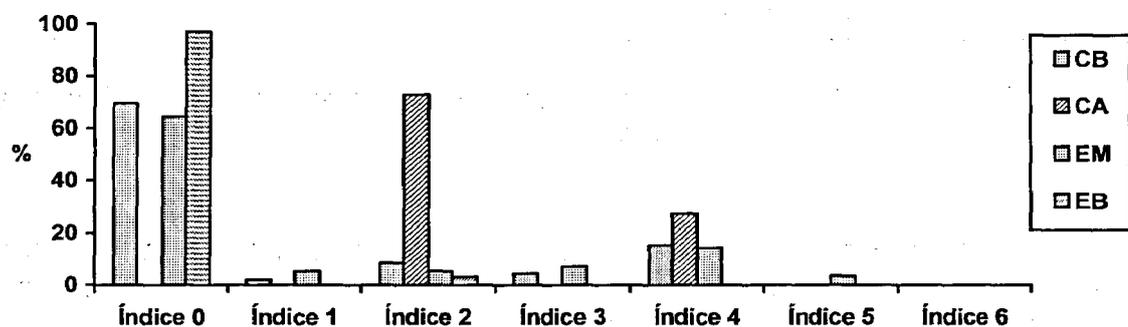
En el grupo Control Bajo (CB) también hay diferencias significativas y se produce un incremento en el valor de la mediana. Esto indica que hay una cierta mejora en los resultados obtenidos en el postest, hasta el punto de la significación estadística. Sin embargo, cuando se compara con los datos de los grupos experimentales, especialmente del Experimental Bajo (EB) que partía de su mismo nivel, se observa que la mejora es mucho mayor en los grupos Experimentales.

Esta conclusión se ve reforzada cuando analizamos lo que ha sucedido con el grupo Control Alto (CA). Era la agrupación que partía de un nivel superior (mediana 2) y no se producen diferencias significativas con el postest. Efectivamente, la mediana se incrementa hasta el valor de 3, precisamente el mismo nivel al que llegaron alumnos que fueron sometidos al mismo tratamiento didáctico que partían de un nivel mucho más bajo.

Podemos decir que nuestra propuesta didáctica ha sido capaz de producir un cambio conceptual en los alumnos y se ha manifestado más eficaz que el sistema tradicional de enseñanza de la ubicación de los genes en el organismo.

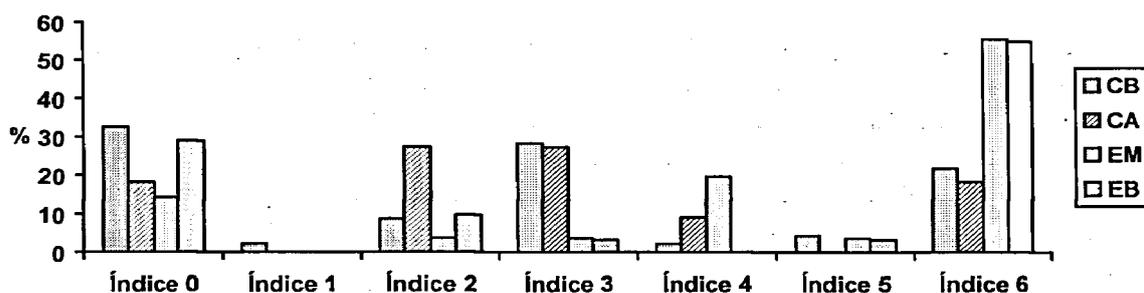
En las gráficas 6.4.1. y 6.4.2. se muestra la distribución de los índices de la red sistémica en las diferentes agrupaciones.

Podemos observar que no aparece ninguna creación con índice 6 y tan sólo 2 con índice 5 en el grupo Experimental Medio. El índice que se presenta en mayor porcentaje es el 0, con valores muy parecidos en CB y EM , mientras que en EB es prácticamente el único existente.



Gráfica 6.4.1. Porcentaje de los índices de la red en las diferentes agrupaciones en el pretest.

En el postest se produce una tendencia general hacia valores del índice más elevado, destacando los grupos experimentales con porcentajes prácticamente iguales de índice 6, el de mayor corrección. Mientras que en estas agrupaciones un 55% de media de las creaciones pueden catalogarse como de máxima corrección, en CB es del 21.7 % y en CA del 18.2%. En la gráfica 7.4.2. puede visualizarse las diferencias existentes.



Gráfica 6.4.2. Porcentaje de los índices de la red en las diferentes agrupaciones en el postest.

Hemos comparado los diferentes grupos entre si antes y después de la docencia para determinar si aparecen diferencias en cada fase de la investigación.

En la tabla siguiente se muestran las diferencias entre las agrupaciones en el pretest, a partir del test de la U de Mann-Whitney.

PRETEST	Experimental Bajo	Experimental Medio	Control Alto
Control Bajo	U = 515 p = 0.003 Sí hay diferencias	U = 1213.5 p = 0.549 No hay diferencias	U = 98.5 p = 0.001 Sí hay diferencias
Control Alto	U = 4.000 p << 0.001 Sí hay diferencias	U = 142.0 p = 0.002 Sí hay diferencias	
Experimental Medio	U = 580.5 p = 0.001 Sí hay diferencias		

Tabla 6.4.7. Test de U de Mann-Whitney entre las diferentes agrupaciones en el pretest

Vemos que el grupo que se diferencia significativamente del resto es el Control Alto. Anteriormente ya vimos que era el que presentaba creaciones más correctas y la mediana tenía un valor de 2.

Analizando los otros grupos, se comprueba que el grupo Control Bajo se diferencia del Experimental Bajo pero no del Experimental Medio. Observando detalladamente los resultados obtenidos, en el grupo CB aparecen unos valores del índice de la red sistémica sustancialmente superiores a los de EB y muy cercanos a los de EM. Efectivamente, en EB hay un 96.8 % de índice 0 por un 69.6 % en CB y un 64.3 % en EM. Estos valores son los responsables de las diferencias encontradas, es decir, el grupo EB partía de un nivel aún inferior al de CB.

POSTEST	Experimental Bajo	Experimental Medio	Control Alto
Control Bajo	U = 546.0 p = 0.071 Diferencias marginales	U = 717.5 p <<0.001 Sí hay diferencias	U = 242.0 p = 0.819 No hay diferencias
Control Alto	U = 136.0 p = 0.294 No hay diferencias	U = 166.5 p = 0.010 Sí hay diferencias	
Experimental Medio	U = 786.5 p = 0.426 No hay diferencias		

Tabla 6.4.8. Test de U de Mann-Whitney entre las agrupaciones en el postest.

Las diferencias que pudieran existir después de la instrucción con dos modelos didácticos diferentes pueden ser atribuidas a la mayor capacidad de uno de ellos en provocar la reestructuración de las ideas del alumnado.

El grupo Control Alto no se diferencia ni del Control Bajo ni del Experimental Bajo. La razón es que se ha producido una mejora en CB suficiente para que no se observen diferencias con el CA, mientras que en éste no se produce avance significativo. Por otra parte, el grupo que partía de un nivel inferior, el Experimental Bajo, ya no se diferencia de CA, es decir, han sido capaces de salvar las distancias cognitivas que los separaban gracias a una metodología didáctica diferenciada, e incluso superarlas, ya que la mediana de EB pasa de 0 a 6, aunque sin llegar a la significación estadística.

Continúa diferenciándose del grupo EM, pero analizando las medianas y los datos con más detalle, vemos que se ha producido un incremento de la mediana en EM desde 0 a 6, mientras que en CA de 2 a 3. Por tanto, las diferencias observadas en el pretest eran debido a una mejor situación del grupo Control, mientras que después de la docencia las diferencias son a favor del grupo Experimental.

Por otra parte, las diferencias observadas en el pretest entre las dos agrupaciones experimentales, no se observan en el postest, es decir, que al estar los dos conjuntos de alumnos al mismo proceso didáctico, los resultados finales son análogos.

Finalmente, vemos que al comparar CB y EB la probabilidad es de 0.071, es decir, en el límite de la significación. Ya hemos comentado con anterioridad (ver capítulo 5) que se pueden considerar diferencias marginales y por tanto estas dos agrupaciones muestran tendencia a la diferenciación estadística (Stoehr, 1999). Esto es especialmente importante porque ya vimos en el pretest que EB era significativamente inferior a CB y en el postest las diferencias son a favor del grupo experimental, como podemos corroborar al estudiar las medianas. Éstas se han incrementado de 0 a 3 en el grupo CB y en el EB de 0 a 6. Este dato confirma que en este caso, el tratamiento experimental también

ha conseguido salvar las diferencias existentes en el pretest y conseguir una mejora sustancial.

6.4.3.2. Diferencias en el recordatorio

Estudiaremos ahora el grado de retención producido varios meses después de la docencia.

En la tabla siguiente se muestran las diferencias obtenidas entre el postest y el recordatorio y también entre el pretest y el recordatorio a partir del test de Wilcoxon.

	POSTEST-RECORDA			PRETEST-RECORDA		
	Estadístico	p	¿Hay diferencias?	Estadístico	p	¿Hay diferencias?
CB	-2.401	0.016	Sí	-0.106	0.915	No
CA	-0.272	0.785	No	0	1	No
EM	-3.649	<<0.001	Sí	-2.359	0.018	Sí
EB	-0.405	0.685	No	-3.644	<0.01	Sí

Tabla 6.4.9. Diferencias en los grupos en las diferentes fases de investigación.

	Mediana			Percentil 25			Percentil 75		
	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda	pretest	Postest	Recorda
CB	0	3	0	0	0	0	2	5	2.25
CA	2	3	2	2	2	0	4	4	5.25
EM	0	6	3	0	4	0	2.75	6	6
EB	0	6	4	0	0	0	0	6	6

Tabla 6.4.10. Estadística descriptiva de las agrupaciones en las tres fases de la investigación.

En el grupo CA no aparecen diferencias significativas entre el momento inmediatamente posterior a la finalización de la instrucción y varios meses después (un mínimo de 9 meses), aunque se produce un descenso de la mediana, lo que indica una menor corrección de las ideas. En el grupo EB tampoco se observan diferencias y también hay un descenso del valor de la mediana. Esto indicaría que en ambos grupos se ha producido un cierto grado, aunque con un ligero descenso, menor en EB ya que la mediana continúa en valores superiores a la del grupo que partía de un nivel superior, es decir, CA. En EB se produce un descenso de 6 a 4, mientras que en CA es de 3 a 2.

En los dos grupos que pudieran considerarse más parecidos, EB y CB, sí se han producido diferencias en el recordatorio. Se observa retención en el grupo EB al no haber diferencias significativas entre el postest y el recordatorio, aun produciéndose un descenso de la mediana de 6 a 4. Sin embargo, en CB hay diferencias significativas entre el postest y el recordatorio y la mediana baja de 3 a 0. Por tanto, en este caso también el nivel de retención ha sido mayor en el

grupo experimental, aun teniendo en cuenta el descenso en el valor de las medianas.

Analizando las posibles diferencias entre el pretest y el recordatorio y comparándolas con las obtenidas entre el pretest y el recordatorio, obtendremos una idea global muy aproximada sobre el éxito de nuestra propuesta didáctica.

En ninguno de los dos grupos control aparecen diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio y las medianas de ambos momentos coinciden. Podemos decir que el alumnado vuelve a posiciones conceptuales similares a las que tenía antes de iniciar el proceso educativo, aunque se hubieran observado diferencias en alguna otra fase de la investigación.

En los dos grupos experimentales se observan diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio; además, las medianas iniciales eran 0 en ambos casos y en el recordatorio son mucho mayores. Podemos decir que no se produce un retorno a las concepciones iniciales detectadas en el pretest justo antes de iniciar la instrucción.

En el grupo CB hay diferencias después de la instrucción, pero también las hay entre el postest y el recordatorio, lo que significa un retroceso. Finalmente, no aparecen diferencias entre el pretest y el recordatorio, es decir, se ha vuelto a posiciones iniciales y aquellas diferencias entre el pretest y el postest no se han consolidado y no se ha producido retención.

En el grupo CA, de nivel inicial superior, no hay diferencias en ningún momento, lo que nos indica que el modelo tradicional no ha sido capaz de hacer avanzar más un grupo que partía de concepciones más próximas al conocimiento científico.

Podemos decir, por tanto, que el modelo didáctico aplicado en los grupos control no ha sido capaz de conseguir un cambio conceptual en el alumnado.

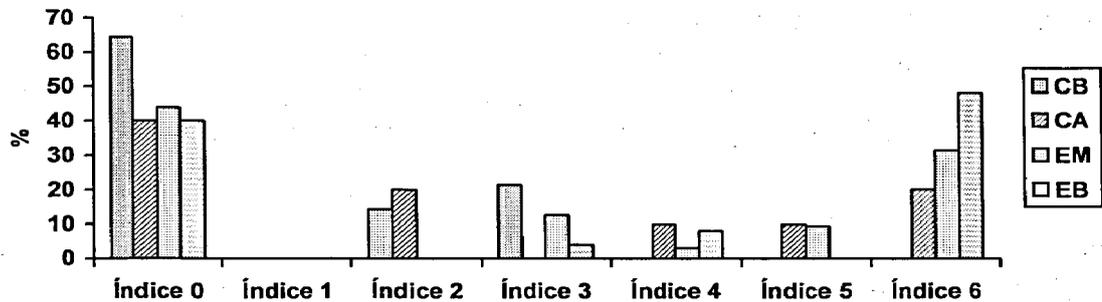
En el grupo EM sí hay diferencias en la primera fase y también en la segunda, es decir, se produce un descenso en la retención. Sin embargo, también las hay entre el pretest y el recordatorio, lo que indica un retroceso respecto el postest pero consiguiendo un nivel bastante superior al del pretest y por tanto permitiendo al alumnado disponer de esquemas conceptuales más correctos.

En el grupo EB se produce una situación que se ajusta perfectamente a nuestra hipótesis inicial. Aparecen diferencias entre el pretest y el postest pero no entre el postest y el recordatorio, con lo que los nuevos esquemas conceptuales formados tras la instrucción se mantienen meses después. Además, las diferencias existentes entre el pretest y el recordatorio confirman que se ha conseguido un verdadero cambio conceptual y una validación de nuestro modelo didáctico.

Si bien en las tres agrupaciones se observa un incremento de dibujos valorados con índice 0, es en el Control Bajo donde el porcentaje es similar al

detectado en el pretest. Por otra parte, es en las agrupaciones experimentales donde se produce una retención suficientemente alta, como se refleja en el elevado porcentaje de índices 6 que aparecen.

En la gráfica 6.4.3. podemos observar la presencia de los índices en cada agrupación en la fase de recordatorio.



Gráfica 6.4.3. Porcentaje de los índices de la red en las diferentes agrupaciones en el recordatorio.

Si analizamos las diferencias estadísticas entre las agrupaciones en el recordatorio se confirman las líneas ya descritas en apartados anteriores. No aparecen diferencias entre los dos grupos experimentales y ellos tampoco se diferencian del grupo CA.

RECORDATORIO	Experimental Bajo	Experimental Medio	Control Alto
Control Bajo	U = 96.5 P = 0.013 Sí hay diferencias	U = 139.0 P = 0.029 Sí hay diferencias	U = 46.0 P = 0.124 No hay diferencias
Control Alto	U = 103.0 P = 0.390 No hay diferencias	U = 149.0 P = 0.732 No hay diferencias	
Experimental Medio	U = 353.0 P = 0.417 No hay diferencias		

Tabla 6.4.11. Test de U de Mann-Whitney entre las agrupaciones en el recordatorio.

Sabemos que se produce un cierto retroceso en los grupos experimentales aunque nunca llegan a niveles del pretest, como sucede en tratamientos control.

Vemos que el grupo Control Bajo presenta diferencias con las dos agrupaciones experimentales, debido a que el retroceso en dicho grupo es mucho mayor.

El análisis conjunto de las tres fases de estudio, pretest, postest y recordatorio nos confirma las conclusiones obtenidas en el apartado anterior, en el sentido de la mayor capacidad de nuestra propuesta en producir una reestructuración de las ideas del alumnado para llevarla a posiciones más cercanas a la corrección científica.

6.4.4. Modelos de evolución del aprendizaje

Para observar la evolución del aprendizaje en las tres fases de estudio (antes de la docencia, después de la docencia y meses después de la docencia) se han establecido distintos modelos que pueden describir este proceso. En capítulos anteriores se ha descrito el proceso de elaboración de dichos modelos (ver capítulo 5). En la tabla 6.4.12. figuran los modelos detectados:

<i>MODELO</i>	Evolución pretest-postest	Evolución postest-recordatorio	Valoración
1	Índice mejora	Índice mejora	9
2	Índice mejora	Índice se mantiene	8
3	Índice mejora	Índice empeora	7
4	Índice se mantiene	Índice mejora	6
5	Índice se mantiene	Índice se mantiene	5
6	Índice se mantiene	Índice empeora	4
7	Índice empeora	Índice mejora	3
8	Índice empeora	Índice mejora	2
9	Índice empeora	Índice empeora	1

Tabla 6.4.12. Modelos de la evolución del aprendizaje detectados.

1) Análisis de los modelos

En los apartados anteriores de este capítulo se puede comprobar la mayor eficacia de nuestra propuesta didáctica frente a un modelo tradicional de enseñanza de la genética. Hipotetizamos que existirán diferencias entre las diferentes agrupaciones en los modelos de aprendizaje de los alumnos.

En la tabla se muestran los resultados estadísticos resultantes al de comparar las diferentes agrupaciones, que nos indicará si hay diferencias significativas entre los modelos presentes en ellas.

	Experimental Bajo	Experimental Medio	Control Alto
Control Bajo	U = 110.0 p = 0.044 Sí hay diferencias	U = 109 p = 0.003 Sí hay diferencias	U = 67.0 p = 0.855 No hay diferencias
Control Alto	U = 65.5 p = 0.025 Sí hay diferencias	U = 73.0 p = 0.009 Sí hay diferencias	
Experimental Medio	U = 354.5 p = 0.432 No hay diferencias		

Tabla 6.4.13. Comparación de los modelos de aprendizaje en las diferentes agrupaciones a partir del test de Kruskal-Wallis.

Destaca una uniformidad en los resultados, que encaja con nuestras hipótesis de trabajo. Entre los grupos control no hay diferencias significativas, lo que nos indica que los modelos de aprendizaje son muy similares.

Los dos grupos experimentales tampoco se diferencian entre sí, lo que nos indica también que los modelos de aprendizaje son realmente parecidos.

Sin embargo cuando comparamos los grupos experimentales con los controles vemos que siempre se diferencian, todos los grupos control muestran diferencias significativas con las agrupaciones experimentales.

Podemos concluir por tanto que el alumnado que ha seguido los dos tratamientos didácticos diferenciados ha mostrado modelos de aprendizaje distinto. Ahora bien, ¿cuál de los dos modelos es el que es capaz de provocar un cambio conceptual en los alumnos? Después de analizar los resultados del postest y el recordatorio nos atrevemos a decir que el modelo propuesto por nosotros es el más eficaz. No obstante, vamos a comprobarlo a partir de los datos obtenidos.

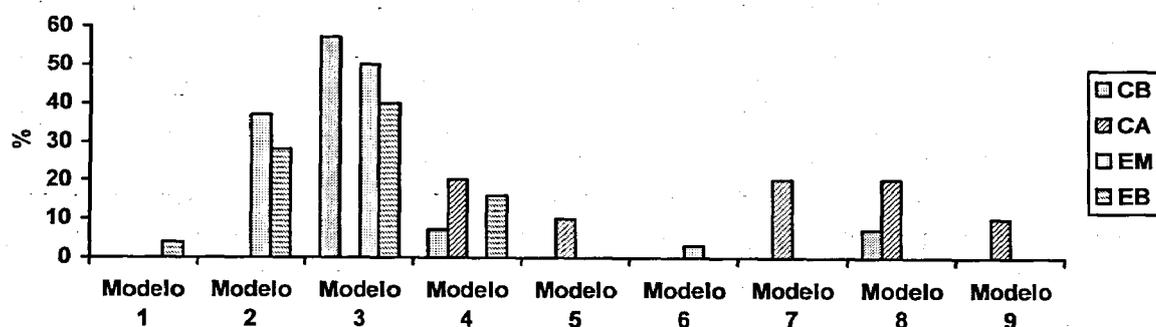
En la tabla 6.4.14. podemos ver la presencia de los modelos en cada agrupación. Recordemos que el modelo 1 es el más deseable y supone que ha habido mejora del pretest al postest y del postest al recordatorio. El siguiente modelo deseable es el 2 y así sucesivamente hasta el modelo 9.

	CB	CA	EM	EB
MODELO 1	0	0	0	4
MODELO 2	0	0	37	28
MODELO 3	57	0	50	40
MODELO 4	7.1	20	0	16
MODELO 5	0	10	0	0
MODELO 6	0	0	3.1	0
MODELO 7	0	20	0	0
MODELO 8	7.1	20	0	0
MODELO 9	0	10	0	0

Tabla 6.4.14. Porcentaje de modelos presentes en cada agrupación.

Podemos comprobar que la mayor parte del alumnado de agrupaciones experimentales se encuentra ubicada en los modelos 1, 2 y 3, concretamente el 87% en EM y el 72% en EB. Independientemente del nivel inicial de los grupos experimentales, la no existencia de diferencias significativas indica que el modelo de aprendizaje sigue un mismo patrón, mientras que en los grupos control no encontramos ningún modelo 1 ó 2, y tan solo en CB encontramos un 57% de alumnos que presentan el modelo 3.

Estos datos vendrían a confirmar la validez del tratamiento didáctico propuesto por nosotros, ya que es capaz de provocar diferencias significativas después del tratamiento didáctico, presenta gran capacidad de retención y uniformiza aquellos grupos que inicialmente presentaban un nivel ligeramente más bajo. En la gráfica 6.4.4. se puede ver claramente la distribución de los modelos en las diferentes agrupaciones.



Gráfica 6.4.4. Presencia de los modelos de aprendizaje en las diferentes agrupaciones

6.4.5. Análisis de las creaciones del alumnado

En los apartados anteriores se ha realizado un análisis de los resultados globales de cada grupo atendiendo a la valoración obtenida en las redes sistémicas y en el modelo de aprendizaje observado. En los párrafos siguientes estudiaremos las diferentes categorías en las que se han clasificado las respuestas del alumnado y que han sido la base de la construcción de las redes sistémicas.

Dibuja – No dibuja

Antes de iniciar este proceso es necesario saber si la presencia de alumnos que han dibujado es igual en las cuatro agrupaciones y si ha habido algún cambio desde el pretest hasta el postest o el recordatorio.

En la tabla 6.4.15. se muestran las frecuencias de alumnos que han dibujado o los que no.

	Dibujan						No dibujan					
	Pretest		Postest		Recorda		Pretest		Postest		Recorda	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
CB	14	30.4	31	67.4	5	33.3	32	69.6	15	32.6	10	66.6
CA	11	100	9	81.8	6	60.0	0	0	2	18.2	4	40.0
EM	20	35.7	48	85.7	18	58.0	36	64.0	8	14.3	13	41.9
EB	1	3.2	22	70.9	15	60.0	30	96.7	9	29.1	10	40.0

Tabla 6.4.15. Frecuencias y porcentajes de alumnos que dibujan en cada fase de estudio.

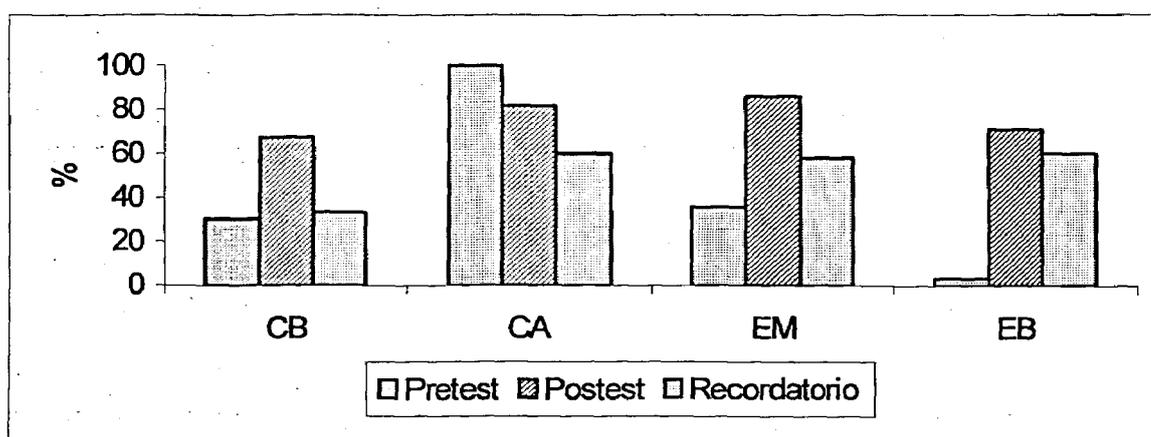
Se observa que se comportan de manera diferente las cuatro agrupaciones, hasta el punto que realizando el test de Ji-cuadrado se observan diferencias significativas entre ellas en cada una de las fases ($\chi^2= 22.698$, $p < 0.01$). Si realizamos el test observando las diferencias entre el pretest y el postest también aparecen diferencias ($\chi^2= 13.309$, $p = 0.004$). Esto nos indica que la docencia ha supuesto un impacto en el alumnado ya que no se obtienen los mismos resultados en cada fase de estudio. Es necesario comprobar si el impacto ha sido mayor en alguna de las agrupaciones o no. Si alguno de los tratamientos didácticos supone una mejora en el alumno, es de esperar que en las agrupaciones que han recibido dicho tratamiento haya mayor presencia de creaciones y que estas presenten además mayor riqueza y corrección.

Efectivamente, el incremento de respuestas que aparecen contestadas, es decir, con dibujos que representan el lugar donde se encuentran los genes, es mucho mayor en el postest en los grupos experimentales. En EM se pasa de un 35.7% a un 85.7% y en EB del 3.2% al 70.9%, mientras que en el grupo CB el incremento es desde un 30.4 % a un 67.4%. Es cierto que también hay más alumnos que dibujan en el grupo Control Bajo, pero son muchos más en los grupos experimentales, especialmente en el grupo que podíamos considerar análogo, es decir, Experimental Bajo, donde el crecimiento es espectacular.

Atribuimos esta diferencia a que nuestra propuesta didáctica ha permitido al alumnado estructurar sus ideas sobre la situación de los genes. Se produce el caso curioso de que en el grupo Control Alto pasamos de un 100% de respuestas a un 81.8%. Hay que considerar que no todas las respuestas obtenidas en el pretest puedan ser correctas, pero si tenemos en cuenta que en el postest hay alumnos que contestaron en la primera fase pero no en la segunda, es posible que durante la docencia se haya producido confusión en el alumnado o sencillamente que durante el transcurso de la unidad didáctica no se haya podido completar una reestructuración de las ideas adecuada al conocimiento científico.

En un estudio realizado por Banet y Ayuso (1995) en el que se interrogaba a los alumnos sobre la localización de los genes, se encontró que un 34.8% no contestaba, lo que equivaldría en nuestro trabajo a no dibujar. Nosotros nos hemos encontrado con valores mucho mayores debido a que nuestra formulación era de respuesta abierta y en la investigación comentada era de respuesta múltiple. No obstante, en el postest nos encontramos con algunos grupos en los que hay un porcentaje de alumnos que no responden similar al de Banet y Ayuso (CB y EB).

En el recordatorio, los datos son similares en los grupos CA, EM y EB, mientras que se produce un importante descenso en CB. Esto significa que los grupos experimentales mantienen un nivel similar al grupo que partía de un nivel inicialmente superior, mientras que el grupo Control Bajo se distancia notablemente del Experimental Bajo, resultado de la poca capacidad de retención pasados unos meses de la docencia.



Gráfica 6.4.5. Porcentaje de alumnos que dibujan en las diferentes fases de estudio

Categoría Representa la célula – No representa la célula

	Representa la célula						No representa la célula					
	Pretest		Posttest		Recorda		Pretest		Posttest		Recorda	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
CB	9	64.3	13	42.0	3	60.0	5	35.7	18	58.0	2	40.0
CA	3	27.3	1	11.1	0	0	8	72.7	8	88.9	6	100
EM	14	70.0	10	20.8	5	27.7	6	30.0	38	79.2	13	72.3
EB	0	0	2	9.1	6	40.0	1	100	20	90.9	9	60.0

Tabla 6.4.16. Frecuencia y porcentaje de creaciones que representan la célula y creaciones que no representan la célula.

No se puede decir que una de estas dos formas de representar sea conceptualmente más correcta, dado que pueden darse respuestas ajustadas al conocimiento científico de ambas maneras. Ahora bien, los modelos utilizados por nosotros durante la unidad didáctica partían del concepto de célula hasta llegar a las estructuras celulares donde físicamente se encuentran los genes. Los conceptos de alelo, homocigosis y heterocigosis fueron trabajados con modelos que no necesitaban la construcción de la célula. Posteriormente, durante ejercicios de aplicación se hizo referencia a dichos modelos y, tal como se ha visto en apartados anteriores, ha servido para que los alumnos de los grupos experimentales consiguiesen un cambio conceptual no detectado en los grupos control. En el estudio de Lewis et al. (2000), el 50% de los alumnos situaban los genes en las células, sin especificar más, tal vez debido al planteamiento de la cuestión, ya que se les pedía que dijeran en qué parte de su cuerpo se encontraban los genes. Consideramos que formular de esta manera la pregunta permite extraer información *a grosso modo*, pero no obtener una estructura conceptual completa. En nuestro caso no se produce uniformidad en los diferentes grupos por lo que hace referencia al hecho de dibujar o no la célula. No obstante, en ambos casos podemos encontrarnos con respuestas correctas.

Por tanto, puede considerarse que la no representación de la célula implica un mayor y más preciso conocimiento de la estructura y ubicación del material genético, en este caso del lugar donde se encuentran los genes. Mientras que es frecuente que el alumnado sitúe los cromosomas en células (Banet y Ayuso, 1995), se observa dificultad en la comprensión de los conceptos de gen y alelo y por tanto en su ubicación correcta tanto en células como en otras estructuras biológicas (Pashley, 1994a). En este sentido, los grupos experimentales presentan un mayor número de creaciones que no representan las células sino cromosomas o la molécula de ADN.

La presencia de dibujos que no representen la célula supone para nosotros una aproximación a una comprensión más completa de los conceptos de gen, alelo, homocigosis y heterocigosis. Por otra parte facilitan la realización de problemas de genética entendiendo el proceso y no limitándose a realizar un simple algoritmo (Ayuso et al., 1996). Vemos que en el posttest, hay un porcentaje mayor de alumnos que no representan la célula en los grupos experimentales.

Esto es especialmente relevante en los grupos CB y EB, donde el 90.9% de los experimentales no representa la célula mientras que en el control es del 58%. En el grupo CA también hay un elevado porcentaje de alumnos que tampoco dibujan la célula hasta el punto de que en el recordatorio ninguno lo hace. En el grupo EM se produce un incremento desde el 30% al 79.2%, destacando que en el recordatorio se mantiene un porcentaje similar, el 72.3%. Pero en los grupos comparables con mayor rigor, es decir, Experimental Bajo y Control Bajo, en el recordatorio se mantiene en la misma línea de no representar la célula el grupo Experimental con un 60%, mientras que en el Control se sitúa en niveles similares a los del pretest, es decir del 40%.

Ya hemos dicho que en una primera aproximación consideramos más deseable representaciones que no presenten la célula, aunque en apartados posteriores podremos comprobar que este hecho se acompaña de una gran corrección en dichos dibujos, superior en los experimentales a los grupos control.

Categoría Representa célula con núcleo – Representa célula sin núcleo

	Célula con núcleo						Célula sin núcleo					
	Pretest		Posttest		Recorda		Pretest		Posttest		Recorda	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
CB	8	88.9	12	92.3	3	100	0	0	0	0	0	0
CA	3	100	0	0	0	0	0	0	1	100	0	07
EM	11	78.6	8	80.0	4	80.0	0	0	2	20.0	1	20.0
EB	0	0	2	100	5	83.0	0	0	0	0	1	17.0

Tabla 6.4.17. Frecuencias y porcentaje de creaciones que representan células con núcleo o células sin núcleo

De entre las creaciones que han representado la célula hemos clasificado aquellas que tenían núcleo o las que no lo tenían. Tal y como discutimos en el capítulo referente a la ubicación de los cromosomas (ver apartado 6.2 del presente capítulo), lo estricto es que dichas estructuras solo pueden verse durante la mitosis, durante la cual pueden verse los cromosomas verdaderamente. No obstante, según el tipo de representación y de la explicación que el alumnado acompaña siempre a su dibujo, puede considerarse correcto su ubicación en el núcleo. En realidad, en los estudios sobre la detección de concepciones en el alumnado sobre la ubicación de los cromosomas (por ejemplo, Banet y Ayuso, 1995; Lewis y Wood-Robinson, 2000), se considera conceptualmente correcto situar los cromosomas en el núcleo. En el caso de la situación de los genes sucede lo mismo, con lo que ambas situaciones pueden darse y la corrección de las estructuras presentadas en la creación determinarán si pueden considerarse ajustadas al conocimiento científico.

La mayoría de representaciones nos muestran células con núcleo, pero en el posttest hay ligeras variaciones que por sí solas no nos dan información

suficiente y se hace necesario seguir investigando en las categorías que se derivan de esta.

Categoría Representa ADN y cromosoma – Representa cromosoma – Representa ADN

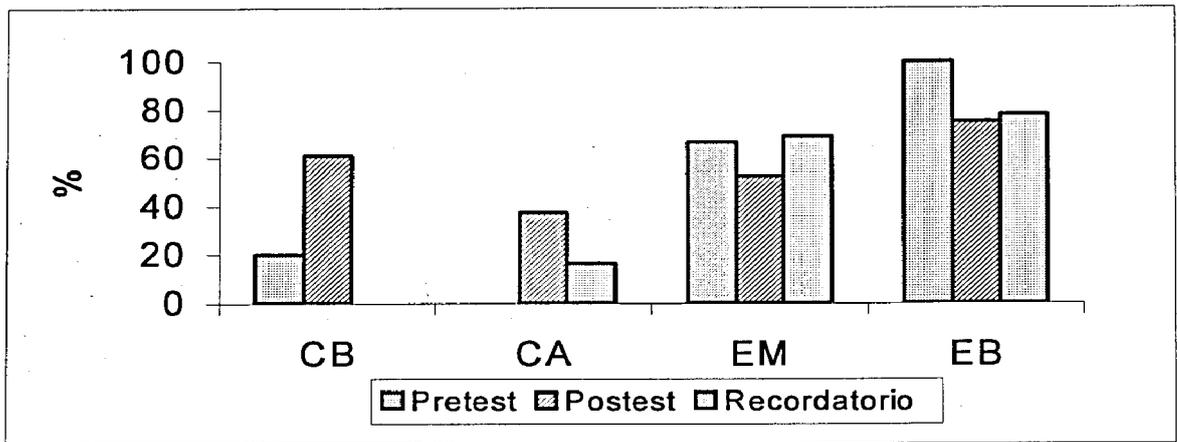
En este apartado hemos agrupado aquellos tipos de representación en los que hemos clasificado las creaciones que no representaban la célula. El primer nivel de clasificación es el que hace referencia a creaciones que relacionan ADN y cromosomas, que puede ser considerado como indicador de corrección conceptual. Aunque son pocos los alumnos que muestran esta representación, vale la pena señalar que de los 5 alumnos que la presentan en el posttest, 4 son pertenecientes a grupos experimentales. Como contrapartida, la única presencia en el recordatorio es del grupo Control Alto.

	Representa ADN y cromosoma					
	Pretest		Posttest		Recorda	
	n	%	n	%	n	%
CB	0	0	1	5.5	0	0
CA	0	0	0	0	1	16.6
EM	1	16.7	3	7.9	0	0
EB	0	0	1	0	0	0

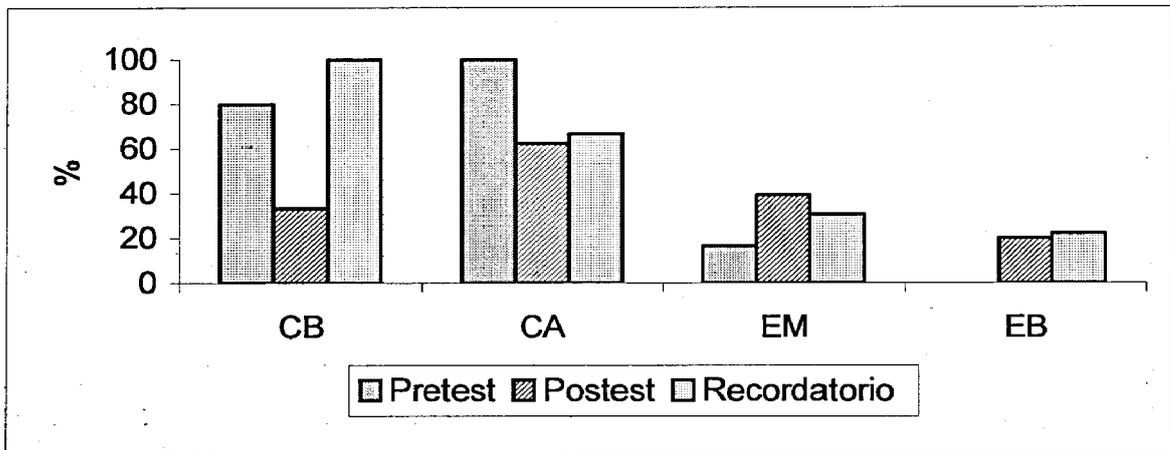
Tabla 6.4.18. Frecuencia y porcentaje de creaciones que relacionan ADN y cromosoma (% sobre el total de alumnos que no representan la célula)

Mucha más información sobre el conocimiento de la ubicación de los genes nos la facilitan las otras dos representaciones de este nivel de clasificación. Podemos decir que, de entrada, es correcto ubicar los genes tanto en los cromosomas como en el ADN. El máximo grado de corrección lo encontraríamos en el apartado anterior (*Representa ADN y cromosoma*), pero dependiendo del tipo de dibujo que presenten aquellos alumnos que han mostrado cromosomas o ADN, podemos decir que la corrección también será presente en ellos. La capacidad de relacionar ADN, cromosoma y gen de manera correcta no es muy frecuente, tal como señalan Bahar et al. (1999), cuando estudian la estructura cognitiva de alumnos de secundaria. No obstante, para determinar con más precisión este aspecto es necesario estudiar otras categorías que se derivan de ésta (ver red sistémica).

En las gráficas siguientes podemos ver cuántos alumnos sitúan los genes en cromosomas y en el ADN.



Gráfica 6.4.6. Porcentaje de alumnos que sitúan los genes en los cromosomas



Gráfica 6.4.7. Porcentaje de alumnos que sitúan los genes en la molécula de ADN

Llama la atención la distribución complementaria de las respuestas en los grupos Experimental y Control por lo que respecta a la situación en cromosomas o ADN. Mientras que en los grupos Experimental la mayoría de creaciones sitúan los genes en los cromosomas, en los grupos Control lo hacen en el ADN. Atribuimos esta circunstancia al uso de nuestros modelos, que han inducido a reforzar esta idea, pero que consideramos de manera positiva, ya que reafirma lo dicho en anteriores apartados. Efectivamente, esta consideración va en paralelo al concepto de alelo y facilita al alumnado una interpretación y resolución de los problemas de genética más razonada.

Salvo las referencias mencionadas en apartados anteriores, la mayor parte de los artículos que hemos detectado en la bibliografía hacen estudios sobre la ubicación de los genes a este nivel de clasificación de nuestra red sistémica, es decir, a nivel subcelular y sin diferenciar los aspectos que hemos señalado. Nuestros resultados discrepan del de otras investigaciones en el porcentaje de respuestas que se obtienen, aunque no desde el punto de vista conceptual.

Así, Lewis et al. (2000) obtienen que el 11% de los alumnos sitúan los genes en los cromosomas; Banet y Ayuso (1995) obtienen un 28%; Lewis y Wood-Robinson (2000) observan un 14.5% y otros estudios no especifican expresamente los porcentajes (Pashley, 1994a; Kindfield, 1991). En nuestro, sería un 13% del total sin diferenciar agrupaciones, lo que se sitúa en un orden comparable al observado en la bibliografía. Ahora bien, algunos de estos estudios son de respuesta múltiple, con lo que pueden suponer una pista al alumnado. Por otra parte, algunos estudios piden a los alumnos que localicen los genes y para ello suministran diferentes tipos de representaciones gráficas que ya provocan en los alumnos una respuesta que tal vez sin existir el dibujo no hubieran sido capaces de contestar.

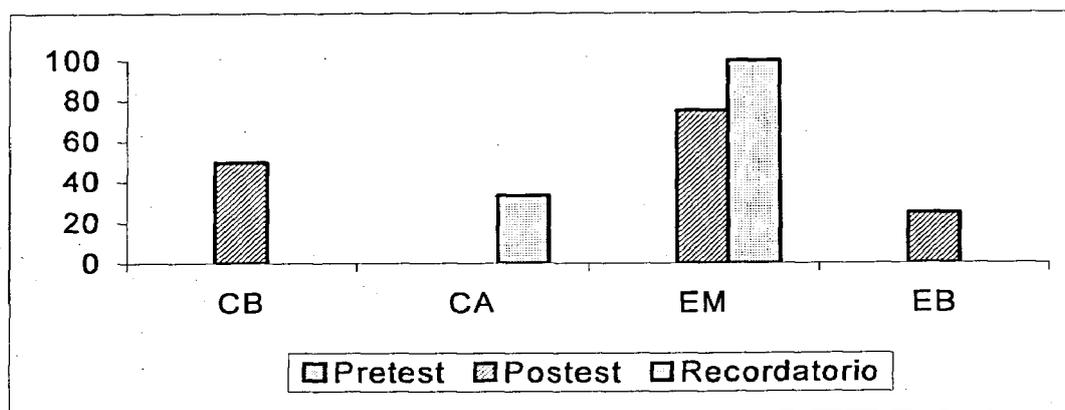
En nuestra investigación hemos formulado la misma cuestión después de la docencia, mientras que en los estudios citados tan solo se refieren a concepciones antes de la instrucción, con lo que los resultados tan solo pueden ser contrastados con los de Pashley (1994a) y en un único aspecto que será comentado más adelante.

Mientras que Lewis et al. (2000) observan que un cierto porcentaje de alumnos (25% del total de estudiantes) consideran que los genes son tan grandes como los cromosomas o incluso mayores, en nuestro caso no hemos detectado ninguna concepción en ese sentido.

Categoría Representa doble hélice y delimita fragmentos – Representa doble hélice sin delimitar fragmentos

Esta categoría corresponde a la clasificación que se ha realizado de las creaciones que representaban el ADN. La mayor parte de estos dibujos mostraban una doble hélice con diferentes variaciones. Algunas de ellas estaban unidas, lo que nos hace pensar en un conocimiento más profundo de la naturaleza del material genético, ya que esas uniones se refieren a enlaces entre nucleótidos del ADN. Otro nivel de clasificación que nos da mucha más información sobre el conocimiento de la situación de los genes es el hecho de mostrar la doble hélice compartimentada o fragmentada, en muchos casos con la señalización expresa escrita de que cada porción se refiere a un gen.

En el pretest no hay ningún dibujo que delimite en fragmentos el ADN en ningún grupo, aunque haya representaciones que muestre la doble hélice. En el posttest sí aparecen un tipo de dibujo más correcto, aunque no en el grupo CA, el que partía de un nivel inicial superior. En el grupo EM es donde aparece un mayor porcentaje, produciéndose una notable retención en el recordatorio, aunque también se observan en CB.



Gráfica 6.4.8. Porcentaje de alumnos que dibujan una doble hélice delimitada por fragmentos

En los grupos control se produce un descenso de creaciones que muestran dobles hélices sin fragmentos, mientras que en los experimentales se da la circunstancia de que apenas aparecían en el pretest, pero sí las hay en el postest.

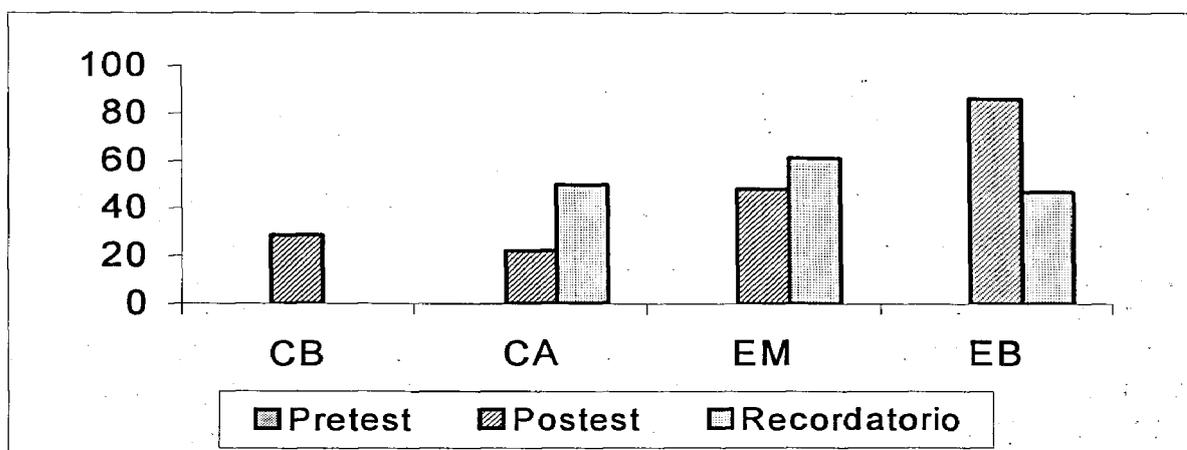
Categoría *Representa cromosoma y delimita fragmentos* – *Representa cromosoma sin delimitar fragmentos*

De la misma manera que en la categoría anterior, aquellas creaciones que dibujen cromosomas delimitando fragmentos se acercan mucho más a la corrección científica que las que no lo presentan. Consideramos que este aspecto aproxima al concepto de alelo con más facilidad. Hay que tener presente la dificultad en la diferenciación de los conceptos gen y alelo que lleva a la confusión o al uso incorrecto. Longden (1982) considera que la confusión entre gen, alelo y su relación con cromosoma es un error común y dificulta la comprensión de la genética. Esta confusión que tienen los alumnos también se ha detectado en libros de texto de Educación Secundaria, que usan de manera indistinta gen y alelo, usando ambos términos como sinónimos y reforzando por tanto la concepción errónea (Radford y Bird-Stewart, 1982; Cho et al., 1985; Kindfield, 1991). Los términos que complementan al de gen o alelo también son utilizados con frecuencia de forma incorrecta, como es el caso de “gen letal” (Pearson y Hughes, 1982).

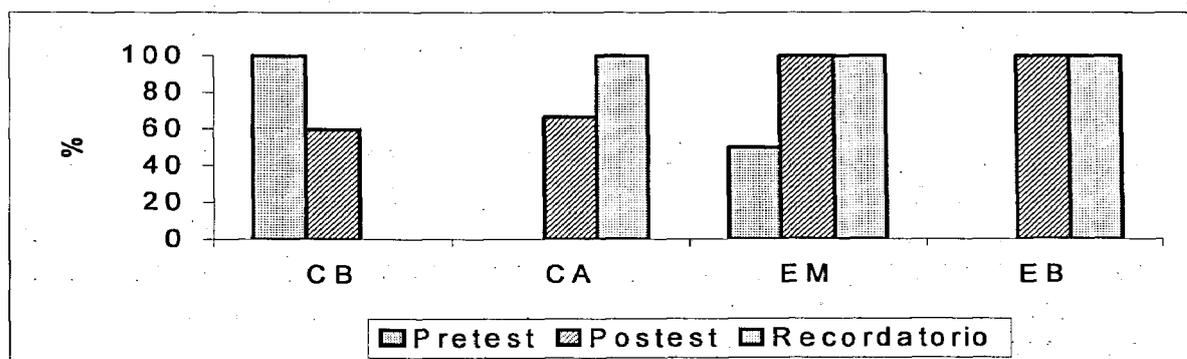
En el pretest apenas hay representaciones que muestren cromosomas (13%), y la mitad lo hacen con fragmentos delimitados y la otra mitad sin delimitar. Precisamente los tres dibujos que muestran cromosomas sin delimitar fragmentos pertenecen a grupos experimentales. Pues bien, en el postest no hay ningún experimental que muestre cromosomas sin delimitar fragmentos y sin embargo aparecen 5 nuevas creaciones de este tipo.

Es en los grupos experimentales donde aparecen la mayoría de creaciones con representaciones que presentan los cromosomas delimitados por porciones que son denominadas genes. Es cierto que en los grupos control también aparecen, pero en mucha menor medida.

Una de las características de nuestra propuesta didáctica es el uso de modelos de cromosoma en los que se sitúan los alelos y se utilizan para la comprensión de los conceptos de homocigosis, heterocigosis, dominancia y los procesos implicados en la resolución de problemas. Coincidimos con Pashley (1994b) en su tesis de que el uso de modelos puede ayudar a provocar un cambio conceptual sobre la naturaleza de los genes, su función y localización y superar la confusión entre gen y alelo. En su estudio, Pashley comprueba que de las dos muestras de alumnos con las que trabajó, en la que utilizaba un modelo de enseñanza constructivista apoyado por el uso de modelos de cromosoma, los resultados obtenidos en el postest eran significativamente diferentes de los de la muestra control. Nuestros resultados son perfectamente concordantes con los obtenidos por dicha autora y nos permite afirmar que los grupos experimentales han sido capaces de reestructurar sus ideas sobre la situación de los genes y han conseguido relacionar esta estructura con los cromosomas y también con la molécula de ADN y consideramos que la utilización de nuestros modelos se ha mostrado realmente eficaz.



Gráfica 6.4.9. Porcentaje de alumnos que dibujan cromosomas delimitados por fragmentos



Gráfica 6.4.10. Porcentaje de alumnos que representan con máxima corrección la ubicación de los genes sin dibujar la célula.

Representación de mayor corrección que no dibuja la célula

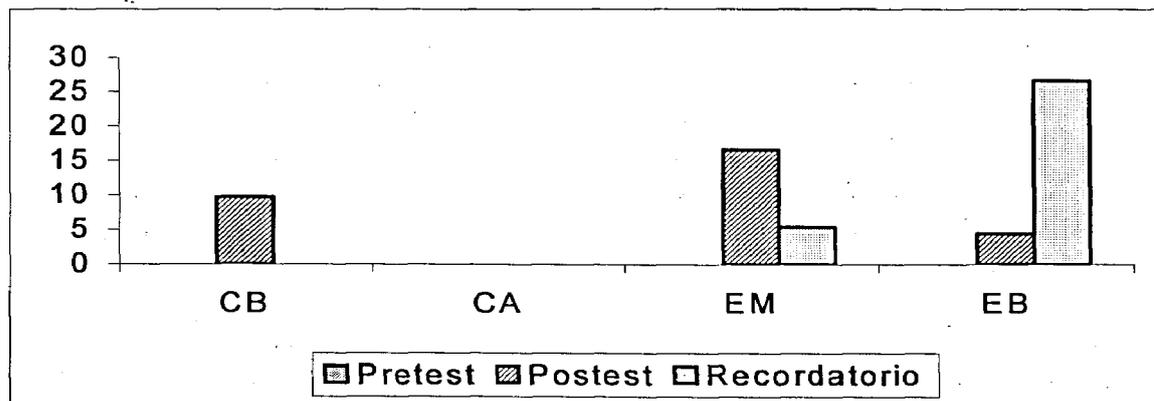
Por último vamos a estudiar las creaciones que muestran una mayor corrección sin haber dibujado la célula. Se trataría de aquellas representaciones que no han dibujado células, pero sí cromosomas con fragmentos y que relacionan correctamente los términos de gen-cromosoma e introducen los términos de base nitrogenada. También son las representaciones que dibujan el ADN como una doble hélice uniendo las dos cadenas y que delimitan un fragmento relacionándolo como gen.

En el pretest no había ninguna creación que pudiéramos considerar correcta, lo cual es lógico ya que es el momento justo anterior a la instrucción. En el postest sí aparece un buen número de ellas, siendo mayor la presencia en los grupos experimentales. En el recordatorio se produce un descenso, pero aún hay bastantes dibujos que pueden ser considerados conceptualmente correctos. Estos datos vuelven a confirmar lo comentado anteriormente y especialmente en otras secciones de este capítulo en el sentido del mayor éxito didáctico de nuestra propuesta para que los alumnos reestructuren sus ideas y puedan conocer la situación y naturaleza del material hereditario.

Ya hemos comentado anteriormente que algunos trabajos que intentan determinar las concepciones alternativas sobre genética, presentan a los alumnos dibujos sobre los que ellos han de dibujar o responder alguna pregunta a partir de ellos. Consideramos que esto puede alterar los resultados al condicionar e informar ya de entrada de algún aspecto sobre el que se pretende obtener información. Por otra parte las presentaciones gráficas que muestran los investigadores son diferentes. Hemos detectado dibujos de cromosomas o estructuras relacionadas diferentes en los siguientes estudios: Longden (1982); Cho et al. (1985); Kindfield (1991); Banet y Ayuso (1995, 2000). Tal vez los propios investigadores ayudemos a inducir o reforzar algún tipo de concepción, de la misma manera que los dibujos que el profesorado realiza en la pizarra o los autores de libros en sus textos. Kindfield (1991) hace referencia a la tesis de Hildebrand (1989) en la que se estudian las representaciones gráficas que se hacen en genética y en el conocimiento de la meiosis y afirma que en algunos textos se muestra el cromosoma sin haberse duplicado y en otros duplicado, lo que puede llevar a errores.

Representación de mayor corrección que dibuja la célula

También podemos considerar creaciones conceptualmente correctas que dibujen células, aunque el grado de exigencia a la hora de considerar correctas las representaciones, ha de ser mayor. En este caso hay que ser muy estricto en la explicación que el alumnado acompaña a la creación que ha realizado. Podemos encontrar dibujos que no presenten núcleo o bien que lo presenten y por tanto lo necesario es que las estructuras sean dibujadas correctamente y explicitadas con rigor.



Gráfica 6.4.11. Porcentaje de alumnos que representan con máxima corrección la ubicación de los genes dibujando la célula.

Como era de esperar y de la misma forma que se encontró en el caso de creaciones correctas que no dibujan la célula, no aparece ninguna representación en el pretest digna de la máxima puntuación en la red sistémica. Sin embargo en el posttest aparece de forma desigual. Mientras que en el grupo CA no aparece ninguna, es en el grupo EM donde mayor número se presentan, seguido de CB. Destaca que en el recordatorio no hay ninguna creación en los grupos control pero hay 5 en los experimentales, curiosamente en el grupo EB, que no mostró más que una en el posttest.

6.4.6. Índice de mejora

El valor máximo de la red sistémica es de 6, por lo que la expresión que nos permite calcular el índice de mejora (ver capítulo 5) es la siguiente:

$$\text{Índice de mejora (IM)} = \frac{\text{POSTEST} - \text{PRETEST}}{6 - \text{PRETEST}}$$

Es de esperar que si se ha producido un cambio en las concepciones del alumnado, los valores del índice de la red sistémica sean superiores en el posttest y por tanto el índice de mejora sea alto.

En primer lugar procederemos a comprobar la normalidad de la variable Índice de Mejora, de la misma manera que en apartados anteriores. Aplicando el test de Lilliefors obtenemos un valor del estadístico de 23.726 y una probabilidad de 0.001, por lo que la variable estudiada no sigue una distribución normal y tenemos que aplicar tests no paramétricos para el análisis estadístico.

Aplicamos el test de Kruskal-Wallis para comprobar si existen diferencias entre los cuatro grupos y obtenemos un estadístico de valor 23.726 y una probabilidad de 0.001, por lo que podemos decir que existen diferencias significativas entre las cuatro agrupaciones y, por tanto, no pueden considerarse un único grupo.

Aplicando el test de la U de Mann-Whitney podemos determinar si existen diferencias significativas entre los grupos respecto del índice de mejora, obteniéndose los resultados que se observan en la tabla 6.4.19.

	Experimental Bajo	Experimental Medio	Control Alto
Control Bajo	U = 515.5 p = 0.032 Sí hay diferencias	U = 712.0 p < 0.001 Sí hay diferencias	U = 162.5 p = 0.059 No hay diferencias marginalmente
Control Alto	U = 79.5 p = 0.008 Sí hay diferencias	U = 115.0 p < 0.001 Sí hay diferencias	
Experimental Medio	U = 769.5 p = 0.338 No hay diferencias		

Tabla 6.4.19. Diferencias del Índice de Mejora entre las agrupaciones.

Observando los resultados obtenidos podemos detectar dos tendencias diferentes en las agrupaciones correspondientes a cada tratamiento didáctico. Entre los dos grupos experimentales no se detectan diferencias en su índice de mejora. En los dos grupos control nos encontramos en el límite de la significación, con una probabilidad marginal de 0.059. Pero lo más importante es que los dos grupos experimentales se diferencian muy significativamente de los dos grupos control. Por tanto, podemos deducir un comportamiento distinto en función del tratamiento didáctico al que han sido sometidos los alumnos.

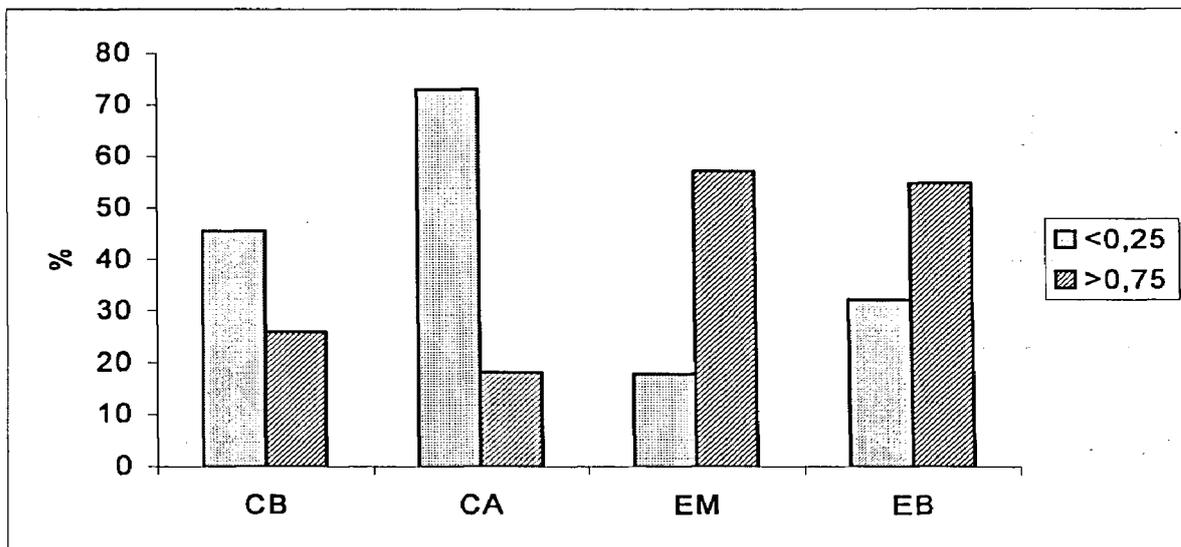
Las diferencias descritas son debidas a que el índice de mejora tiene una tendencia mucho más positiva en los grupos experimentales, con medianas de valor 1. En la tabla siguiente se puede observar los valores de los cuartiles en cada agrupación

	Percentil 25	Mediana	Percentil 75
CB	0	0.33	0.75
CA	-0.25	0	0.5
EM	0.5	1	1
EB	0	1	1

Tabla 6.4.20. Estadística descriptiva del Índice de Mejora

La mediana de los dos grupos experimentales alcanza un valor máximo, mientras que en el grupo CA es de 0 y en CB de 0.33. Por tanto, es en los alumnos en los que se ha implementado nuestra propuesta didáctica donde se ha producido un índice de mejora mayor, siendo esto un claro indicador de la mayor eficacia de la secuencia experimental que la control.

En la gráfica 6.4.12. podemos observar cómo se distribuyen los índices más bajos (menores de 0.25) y los más altos (mayores de 0.75) en las cuatro agrupaciones.



Gráfica 6.4.12. Distribución de los índices de mejora en las agrupaciones.

Podemos observar que los índices de mejora peores (<0.25) son mucho más abundantes en las agrupaciones controles, mientras que los mejores (>0.75) son los que se encuentran en mayor medida en los experimentales. Es importante destacar que el 55.4% de los alumnos de EM y el 51.6% de los alumnos de EB han alcanzado un índice de mejora de 1, mientras que en CB es del 21.7% y en CA del 18.2%.

Podemos concluir que el tratamiento didáctico experimental ha conseguido que gran parte del alumnado modifique sus concepciones sobre la situación de los genes tal y como demuestra el hecho de que el índice de mejora es mayor en los grupos experimentales.

6.5. CÉLULA Y HERENCIA

Los instrumentos utilizados para recoger las concepciones del alumnado a lo largo del trabajo han sido de diferente tipo. Hemos usado cuestiones de respuesta abierta, también se han empleado cuestiones en las que se pedía al alumnado que realizase un dibujo y finalmente se han utilizado cuestionarios de respuesta múltiple. En este apartado analizaremos las preguntas en las que se ofrecía al alumnado varias posibilidades y debían decidirse por una o por varias de ellas. Las cuestiones que se planteaban con las posibles respuestas se muestran a continuación (se propusieron los nombres de células de forma coloquial anteponiendo su comprensión al rigor científico; así, por ejemplo, decimos *células del cerebro* en lugar de *neurona* u *óvulo* en lugar de *oocito*)

1. *¿Qué células contienen información hereditaria?*

Espermatozoides
Células del cerebro
Células del corazón
Óvulos
Células musculares
Todas

2. *¿Qué células tienen cromosomas?*

Espermatozoides
Células del cerebro
Células del corazón
Óvulos
Células musculares
Todas

3. *¿Qué células tienen cromosomas sexuales?*

Espermatozoides
Células del cerebro
Células del corazón
Óvulos
Células musculares
Todas

4. *¿En qué células hacen su función los cromosomas?*

Espermatozoides
Células del cerebro
Células del corazón
Óvulos
Células musculares
Todas

5. *¿Qué células contienen genes?*

Espermatozoides
Células del cerebro
Células del corazón
Óvulos
Células musculares
Todas

6. *¿Dónde se encuentran los genes?*

En los cromosomas
En otro lugar. Indícalo

Se procedió a hacer el vaciado estadístico de las respuestas dadas por el alumnado en cada grupo y se valoró cada cuestión en función de su corrección. La suma de las valoraciones de cada pregunta sobre un máximo de 10 puntos, nos permite calibrar el grado de corrección de las ideas del alumnado sobre estas cuestiones.

Llevaremos a cabo dos tipos de análisis de estas cuestiones: el primero consiste en la valoración global de las seis preguntas y del Índice de Mejora que se pueda observar en esa valoración y en segundo lugar haremos un análisis detallado de las concepciones del alumnado pregunta a pregunta y de cómo se modifican tras la docencia.

6.5.1. Formación de las agrupaciones

De la misma manera que hemos hecho en los otros apartados de este capítulo, comprobaremos si los diferentes grupos de los dos tratamientos forman una unidad o bien se han de formar nuevas agrupaciones. Para ello tomaremos la valoración que se hace del cuestionario en el pretest como variable para realizar los tests estadísticos.

1) Agrupabilidad de los grupos Experimentales

A través del test de Kruskal-Wallis podemos determinar si los cinco grupos experimentales son homogéneos y pueden considerarse una única agrupación. Sin embargo, los resultados nos indican que existen diferencias significativas entre ellos ($\chi^2 = 11.332$; $p = 0.023$) y por tanto tenemos que aplicar el test de la U de Mann-Whitney para determinar si es posible agrupar algunas de las muestras. En la tabla 6.5.1. se muestran los resultados:

	E2	E3	E4	E5
E1	U = 122 = 0.903 No se diferencian	U = 219 p = 0.009 Sí se diferencian	U = 173 p = 0.317 No se diferencian	U = 269 p = 0.018 Sí se diferencian
E2		U = 182 p = 0.010 Sí se diferencian	U = 138.5 p = 0.429 No se diferencian	U = 221.5 p = 0.025 Sí se diferencian
E3			U = 113 p = 0.264 No se diferencian	U = 180 p = 0.837 No se diferencian
E4				U = 226.5 p = 0.252 No se diferencian

Tabla 6.5.1. Agrupabilidad de los grupos experimentales.

A partir de las diferencias existentes entre los diferentes grupos, no podemos considerar las cinco muestras como una unidad y por tanto formaremos nuevas agrupaciones. Vemos que los grupos E1 y E2 no se diferencian entre sí, mientras que sí muestran diferencias con otros grupos; por tanto, los podemos considerar E1 + E2 como un nuevo grupo.

Por otra parte, E3, E4 y E5 no muestran diferencias entre ellos y podríamos considerar E3 + E4 + E5 como una nueva agrupación. Para comprobar que no hay diferencias entre ellos cuando los agrupamos, hemos aplicado el test de Kruskal-Wallis y obtenemos un valor de $\chi^2 = 1.623$ y una probabilidad de 0.444, por lo que no hay diferencias significativas entre ellos. Si observamos las medianas de cada grupo en la tabla 6.5.2. vemos que se pueden formar dos agrupaciones que tienen un nivel conceptual inicial diferente. Además, las medianas de los grupos que forman las dos nuevas agrupaciones son idénticas.

	E1	E2	E3	E4	E5
Mediana	5	5	1.6	1.6	1.6
Percentil 25	1.6	1.6	0	1.6	0
Percentil 75	6.6	6.6	3.3	6.6	3.3

Tabla 6.5.2. Estadística descriptiva de los grupos experimentales

Por tanto, las dos nuevas agrupaciones se denominan de la siguiente manera:

Experimental Medio (EM): E1 + E2

Experimental Bajo (EB): E3 + E4 + E5

2) Agrupabilidad de los grupos Control

Procedemos de la misma manera que en el caso de los grupos Experimentales y comprobamos que los cuatro grupos no son homogéneos ($\chi^2 = 8.512$;

$p=0.037$), con lo que el test de la U de Mann-Whitney nos indicará las posibles agrupaciones, tal como la tabla 6.5.3. nos muestra:

	C2	C3	C4
C1	U = 27.5 p = 0.009 Sí se diferencian	U = 98.5 p = 0.806 No se diferencian	U = 101.5 p = 0.700 No se diferencian
C2		U = 131 p = 0.031 Sí se diferencian	U = 147.5 p = 0.009 Sí se diferencian
C3			U = 113 p = 0.883 No se diferencian

Tabla 6.5.3. Agrupabilidad de los grupos Control.

Vemos que el grupo C2 se diferencia del resto de grupos control, mientras que C1, C3 y C4 no se diferencian entre sí. Para determinar si, efectivamente, estos tres grupos forman uno sólo, aplicamos el test de Kruskal-Wallis y obtenemos un valor de la probabilidad que nos permite agruparlos ($\chi^2=0.163$; $p=0.922$). En la tabla 6.5.4. observamos que las medianas de estos tres últimos grupos coinciden y se alejan bastante de la mediana del grupo C2.

	C1	C2	C3	C4
Mediana	3.3	6.6	3.3	3.3
Percentil 25	0.8	3.3	0	1.6
Percentil 75	5	8.3	6.2	5.8

Tabla 6.5.4. Estadística descriptiva de los grupos control

A partir de estos datos las dos nuevas agrupaciones que formamos son:

Control Alto (CA): C2

Control Bajo (CB): C1 + C3 + C4

3) Nuevas agrupaciones

A partir de los resultados obtenidos y observando el valor de las medianas de cada agrupación (ver tabla 6.5.5.), vemos que parten de niveles cognitivos diferentes o bien que las concepciones que han declarado son diferentes en cada agrupación.

	EM	EB	CB	CA
Mediana	5	1.6	3.3	6.6
Percentil 25	1.6	0	1.6	3.3
Percentil 75	6.6	3.3	5	8.3

Tabla 6.5.5. Estadística descriptiva de las agrupaciones

6.5.2. Diferencias pretest-postest

En primer lugar nos interesa saber si existen diferencias entre los grupos antes de iniciar la docencia. Para ello utilizamos el test de la U de Mann-Whitney y los resultados obtenidos aparecen en la tabla 6.5.6.

PRETEST	EB	CB	CA
EM	U=1203.5 p=0.002 Se diferencian	U=554.5 p=0.094 No se diferencian	U=108.5 p=0.074 Se diferencian marginalmente
EB		U=1092.5 p=0.178 No se diferencian	U=89.0 p<0.001 Se diferencian
CB			U= 112.0 p=0.004 Se diferencian

Tabla 6.5.6. Diferencias en el pretest entre las agrupaciones

Las dos agrupaciones directamente comparables son Experimental Bajo y Control Bajo, ya que partían de unos niveles iniciales en las concepciones muy similares, si bien algo superiores en CB, tal y como nos indican el valor de las medianas: mientras que en el grupo EB es de 1.6, en CB es de 3.3. Tampoco se diferencian de EM, aunque se encuentren cerca de la significación estadística. Vemos que no hay diferencias significativas entre ambos grupos en el pretest, pero sí aparecen en el postest (ver tabla 6.5.7.), si bien entre EM y CB se deban considerar diferencias marginales. Observando las medianas en la tabla 6.5.8., apreciamos que se ha producido un incremento en el nivel de los grupos experimentales y del Control Bajo, mientras que en el grupo Control Alto se produce un estancamiento o incluso un ligero descenso.

La agrupación que destaca por encima de todas es el Control Alto, que en el pretest se diferencia de todas las demás agrupaciones. Sin embargo, en el postest no se diferencia de ninguna de ellas y el valor de la mediana no varía.

La no existencia de diferencias de CA con las agrupaciones experimentales puede ser debida a que el modelo didáctico constructivista ha conseguido que el nivel en los grupos EM y EB haya crecido lo suficiente como para enjugar las diferencias que se habían observado en el pretest con el grupo CA e incluso se hayan llegado a situar por encima.

El grupo Control Bajo también ha experimentado una mejora en las concepciones del alumnado lo suficientemente importante como para que no existan diferencias con el CA. Ahora bien, CB sí se diferencia en el postest de los grupos experimentales, lo que nos viene a decir que el tratamiento experimental ha superado a los dos controles. Este hecho es especialmente significativo al comparar CB con EB, agrupaciones que partían de niveles conceptuales similares.

El resultado del modelo tradicional es contradictorio, ya que aunque ha sido lo bastante eficaz como para superar las diferencias entre CB y CA, hay que destacar que los alumnos del grupo inicialmente que partía de concepciones más correctas, no ha experimentado una transformación en sus concepciones, es decir, parece que haya "tocado techo".

Los dos grupos Experimentales se diferencian en el pretest, como era de esperar, pero en el postest no se observan diferencias significativas, es decir, el modelo experimental ha conseguido uniformizar la distancia que presentaban las agrupaciones EM y EB antes de la docencia. Esa misma uniformización se ha detectado en los grupos control, aunque si tenemos en cuenta que se observan diferencias significativas con el grupo CB y desaparecen las diferencias detectadas en el pretest con el grupo CA, esto parece ser un indicador de mayor eficiencia del tratamiento didáctico experimental a la hora de modificar las concepciones del alumnado.

POSTEST	EB	CB	CA
EM	U=886.5 p=0.863 No se diferencian	538.5 p=0.061 Se diferencian marginalmente	U=208.5 p=0.255 No se diferencian
EB		U=1587.5 p=0.037 Se diferencian	U=385.0 p=0.173 No se diferencian
CB			U=263.5 p=0.826 No se diferencian

Tabla 6.5.7. Diferencias de las agrupaciones en el postest

No obstante, hemos de determinar se existen diferencias significativas entre el pretest y el postest en cada agrupación. La existencia de dichas diferencias y

un incremento del valor de la mediana indicaría un cambio en las concepciones del alumnado debido a la intervención didáctica. En la tabla 6.5.8. se pueden ver los resultados del test de Wilcoxon de datos apareados y los valores de los cuartiles.

	Estadístico	P	Mediana		Percentil 25		Percentil 75	
			Pretest	Postest	Pretest	Postest	Pretest	Postest
EM	-4.635	0	5	8.3	1.6	6.6	6.6	10
EB	-6.465	0	1.6	8.3	0	6.6	3.3	10
CB	-5.219	0	3.3	8.3	1.6	6.6	5	8.3
CA	-1.630	0.103	6.6	6.6	3.3	5.0	8.3	10

Tabla 6.5.8. Diferencias entre el pretest y el postest en las agrupaciones

En las dos agrupaciones experimentales y en la agrupación Control Bajo se ha producido un cambio en las concepciones del alumnado después de la docencia, alcanzando las medianas valores elevados e idénticos en las tres agrupaciones. Sin embargo, en el grupo que partía de un nivel superior, Control Alto, no se observan diferencias significativas ni un incremento del valor de la mediana. Puede decirse que en este grupo no ha existido un impacto efectivo de la docencia.

Este comportamiento diferente del modelo didáctico tradicional en las dos agrupaciones nos hace dudar de su verdadera eficacia, aún más teniendo en cuenta que el grupo CA ya partía de niveles conceptuales elevados. Sin embargo, las dos agrupaciones experimentales muestran una misma tendencia y, tal como se observa en la tabla 6.5.7., no se detectan diferencias entre EM y EB, que sí eran diferentes en el postest. Esto nos indica que, si bien el modelo tradicional ha sido eficaz en una de las agrupaciones, el modelo constructivista ha sido más potente en la transformación de las ideas del alumnado.

6.5.3. Diferencias en el recordatorio

RECORDATORIO	EB	CB	CA
EM	U=233.0 p=0.022 Se diferencian	U=135.5 p=0.202 No se diferencian	U=108.0 p=1.000 No se diferencian
EB		U=202.0 p=0.566 No se diferencian	U=81.5 p=0.074 Se diferencian marginalmente
CB			U=50.0 p=0.318 No se diferencian

Tabla 6.5.9. Diferencias de las agrupaciones en el recordatorio

Varios meses después de la docencia no se observan grandes diferencias entre las agrupaciones, salvo entre EM y EB. Mientras que en EM la mediana es de 9.1, en EB es de 8.3, observándose un sorprendente incremento en el grupo Experimental Medio.

	EM	EB	CB	CA
Mediana	9.1	8.3	8.3	8.3
Percentil 25	7.0	6.6	5	7.4
Percentil 75	10	8.3	10	10

Tabla 6.5.10. Estadística descriptiva de las agrupaciones en el recordatorio

En líneas generales podemos decir que se ha producido una uniformización en las concepciones de los alumnos después de pasados algunos meses entre las diferentes agrupaciones, tanto en un modelo didáctico como en el tradicional. Si observamos el valor de la mediana, vemos que en los dos grupos control es la misma que en el grupo EB, situándose algo por encima el grupo EM.

A pesar de la uniformización de las cuatro agrupaciones, las concepciones del alumnado han experimentado una evolución a lo largo de los tres diferentes momentos de la investigación. En la tabla 6.5.11. se muestran las diferencias existentes en las agrupaciones en cada fase.

	POSTEST-RECORDA			PRETEST-RECORDA		
	Estadístico	p	¿Hay diferencias?	Estadístico	p	¿Hay diferencias?
EM	-0.158	0.874	No	-3.372	0.001	Sí
EB	-1.875	0.061	No	-4.466	<0.001	Sí
CB	-0.052	0.959	No	-3.192	0.001	Sí
CA	-1.691	0.091	No	-2.375	0.018	Sí

Tabla 6.5.11. Diferencias en los grupos en las diferentes fases de investigación.

Entre el postest y el recordatorio no se detectan diferencias significativas, aunque el grupo EB se pueda considerar el matiz de la marginalidad estadística. Esto nos indica que se ha producido retención varios meses después de la docencia, tal y como lo confirman las medianas obtenidas en el recordatorio.

La existencia de diferencias entre el pretest y el recordatorio refuerza la idea expresada en el párrafo anterior. Las concepciones del alumnado en el recordatorio son significativamente diferentes de las detectadas en el pretest y la no aparición de diferencias respecto del postest, nos indica que ambos tratamientos didácticos han sido capaces de provocar retención en el alumnado.

Sin embargo, hay que tener en cuenta las apreciaciones hechas en apartados anteriores, en el sentido de que existen diferencias entre las agrupaciones experimentales y las control a favor de los grupos sometidos a un modelo didáctico constructivista.

En los apartados siguientes hacemos un análisis más exhaustivo de la evolución de las concepciones del alumnado en cada fase de la investigación.

6.5.4. Índice de Mejora

En el capítulo 5 explicamos cómo se confecciona el índice de mejora. En este caso, el valor máximo que pueden alcanzar las respuestas del alumnado es de 10, por lo que la expresión a partir de la cual obtenemos el índice es la siguiente:

$$\text{Índice de mejora (IM)} = \frac{\text{POSTEST} - \text{PRETEST}}{10 - \text{PRETEST}}$$

Es de esperar que después de la docencia las concepciones del alumnado se hayan aproximado a las científicamente correctas y por tanto el índice de mejora se acerque a 1. En la tabla 6.5.12. mostramos las diferencias entre las diferentes agrupaciones respecto del IM.

	EB	CB	CA
EM	U= 806.5 p=0.572 No se diferencian	516.0 p=0.039 Se diferencian	U=228.0 p= 0.088 No se diferencian
EB		U=1791.0 p<0.001 Se diferencian	U=448.0 p=0.015 Se diferencian
CB			U=292.5 p=0.422 No se diferencian

6.5.12. Diferencias en el Índice de Mejora entre las agrupaciones

Los índices de mejora de los dos grupos experimentales no se diferencian, lo que puede interpretarse en el sentido de que el impacto didáctico de la docencia ha sido idéntico. Estos dos grupos sí se diferencian del grupo Control Bajo, que era el más comparable a EB. El grupo CA tiene un comportamiento dispar respecto de los dos grupos experimentales: mientras que es muy significativa la diferencia con EB, con EM no existen diferencias, aunque se

encuentre relativamente cerca de la significación. Sin embargo, no se observa diferencia entre los dos grupos Control, lo que nos indicaría que el impacto didáctico de la docencia ha sido el mismo.

Si observamos detenidamente los valores de los cuartiles y la mediana podemos completar las reflexiones anteriores.

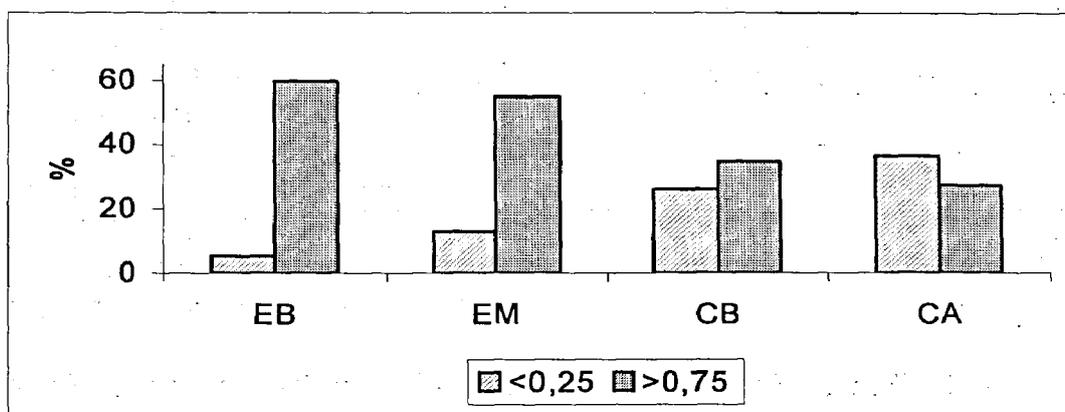
	EM	EB	CB	CA
Mediana	0.83	0.79	0.55	0.32
Percentil 25	0.32	0.66	0.25	0.25
Percentil 75	1	1	0.79	1

Tabla 6.5.13. Estadística descriptiva del índice de mejora

Podemos observar que las medianas en los grupos experimentales son mayores que en los grupos control y muy parecidas entre ellas. El grupo CA es el que presenta un índice de mejora con la mediana más baja y a continuación se encuentra el grupo CB.

Estos datos nos hacen pensar que las diferencias observadas anteriormente son debidas a un impacto diferente de las secuencias didácticas propuestas en los grupos control y experimental. El sentido de este impacto diferenciado es a favor de los dos grupos experimentales, tal y como demuestran los valores mostrados en la tabla 6.5.13.

Gráficamente podemos ver el porcentaje de estudiantes con índices de mejora bajos (<0.25) y altos (>0.75).



Gráfica 6.5.1. Porcentaje de índices de mejora inferiores a 0.25 y superiores a 0.75 en las diferentes agrupaciones

En la gráfica 6.5.1. podemos ver claramente que los índices de mejora en los dos grupos experimentales son claramente diferentes a los que presentan las

agrupaciones control. Mientras que en EB y EM los alumnos con índice de mejora inferior a 0.25 son pocos, 5.3% y 12.9% respectivamente, los alumnos con índice superior a 0.75 representan el 59.7% y 54.9%, respectivamente.

En los grupos control el porcentaje de índices inferiores a 0.25 e índices superiores a 0.75 es prácticamente el mismo. Considerando que la situación ideal sería la de encontrarnos pocos alumnos con índice de mejora bajo y un mayor porcentaje del alumnado con índices de mejora superiores a 0.75, podemos decir que el modelo de enseñanza tradicional no ha sido tan eficaz como el experimental para conseguir índices de mejora altos.

Por tanto, podemos afirmar que la evolución de las concepciones del alumnado de los grupos experimentales ha sido mucho más positiva y ha sido capaz de provocar un cambio importante en las ideas, acercándolas en gran parte del alumnado, a las científicamente correctas.

6.5.5. Discusión de las respuestas del alumnado

En este apartado analizaremos las respuestas del alumnado en cada pregunta, diferenciando el tipo de agrupación y, por tanto, el tratamiento didáctico, para determinar si las diferencias que se han apuntado en apartados anteriores pueden verse confirmadas.

a) *¿Qué células contienen información hereditaria?*

La mayor parte de los alumnos consideran que la información hereditaria se encuentra en las células sexuales, resultado que coincide con los obtenidos por Hackling y Treagust (1985) y por Banet y Ayuso (1995). Esta concepción se halla igualmente distribuida en las cuatro agrupaciones, sin que pueda decirse que predomine en alguna de ellas y sin que existan diferencias estadísticamente significativas (ver tabla 6.5.15.).

Existe un segundo grupo de alumnos que considera que todas las células tienen información hereditaria, distribuido de forma homogénea en las cuatro agrupaciones. También encontramos algunos estudiantes que sitúan en células somáticas la información hereditaria. En nuestra opinión, el hecho de que algunos alumnos creen que células somáticas son las portadoras de la información hereditaria, puede atribuirse a una forma coloquial de entender la herencia, con expresiones como “padres e hijos tienen la misma sangre”.

No podemos decir que ubicar la información hereditaria en los gametos o en células somática (corazón, cerebro o musculares) sea estrictamente incorrecto. El error conceptual lo encontramos cuando el alumno cree que se encuentra únicamente en ese tipo celular. Hay que tener presente que entre las opciones de respuesta se ofrecía la posibilidad de decidir que todas las células tienen información hereditaria.

Coincidimos con Banet y Ayuso (1995) en que el término *información hereditaria* pueda ser un motivo de confusión en el alumnado. El profesorado y los libros de texto usa ese término de manera habitual y, en ocasiones, otros sinónimos como *información genética*. Tal vez el alumnado no sea capaz de discriminar bien el sentido de dicha expresión y le provoque confusión con conceptos como cromosoma o genes. Por otra parte, los alumnos conocen que la fecundación de un oocito por un espermatozoide origina un nuevo ser, parecido a sus progenitores y por tanto asocian los gametos como los únicos portadores de la información hereditaria.

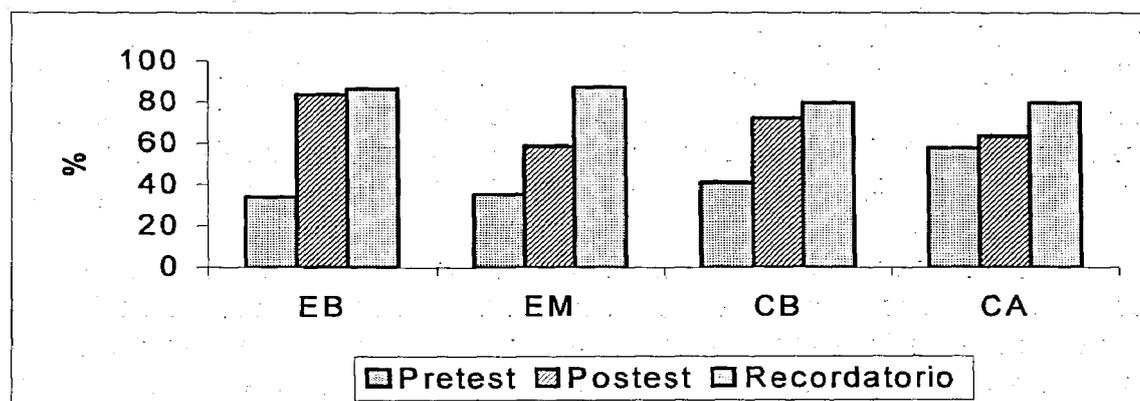
Después de la docencia, las concepciones del alumnado se han modificado en gran parte. En los dos grupos experimentales se produce un incremento de alumnos que consideran que todas las células tienen información hereditaria, fenómeno que también se observa en el grupo Control Bajo, mientras que en Control Alto las concepciones iniciales se mantienen con la misma frecuencia.

El número de alumnos que creen que las células somáticas son las únicas portadoras de información hereditaria ha disminuido hasta el punto de encontrarse tan solo en el grupo EB y en un porcentaje del 5.8%. En el resto de agrupaciones no hay ninguna respuesta en este sentido.

En el recordatorio se mantiene la tendencia observada en el postest, ya que la mayor parte del alumnado considera que todas las células poseen información hereditaria. No obstante, aún hay alumnos que creen que las células sexuales o las somáticas son las únicas poseedoras de la información hereditaria.

De los cuatro grupos en estudio, el Experimental Medio es el que estadísticamente presenta mejores resultados, ya que las concepciones del alumnado se diferencian significativamente después de la instrucción y también son muy diferentes entre el pretest y el recordatorio, lo que indica un alto grado de retención.

En la gráfica 6.5.2. podemos observar la tendencia de las respuestas correctas de cada agrupación en las tres fases de estudio.



Gráfica 6.5.2. Porcentaje de alumnos que consideran que todas las células poseen información hereditaria.

En definitiva, se observa una tendencia positiva en todas las agrupaciones entre el pretest y el posttest, y que es especialmente significativo en el grupo EB. Consideramos que tanto la secuencia didáctica tradicional como la experimental han conseguido modificar las concepciones del alumnado sobre qué tipo de célula contiene información hereditaria, aunque en el grupo EB el cambio ha sido más evidente y estadísticamente significativo.

b) ¿Qué células tienen cromosomas?

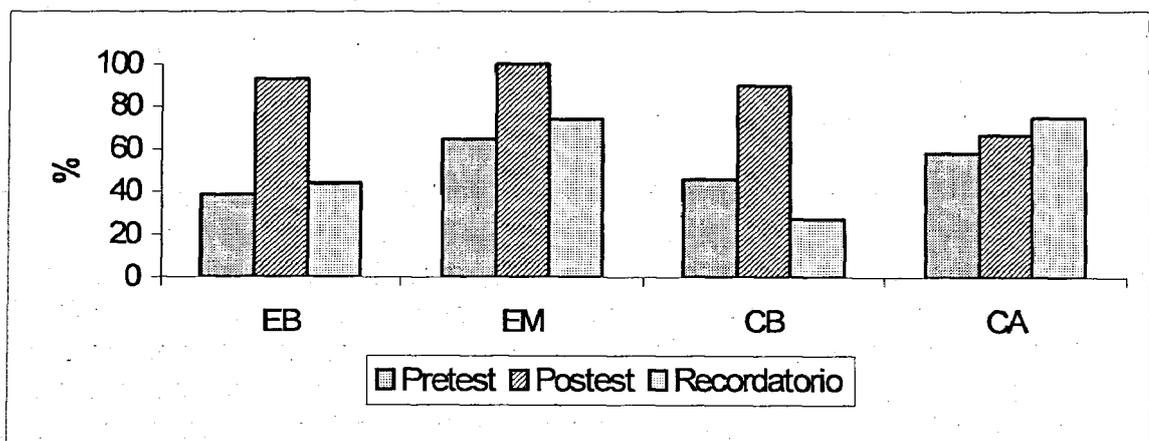
El conocimiento de la estructura, la función y la situación de los cromosomas es uno de las principales fuentes de errores conceptuales en el estudio de los mecanismos de la herencia, tal y como revelan diferentes estudios (Longden, 1982; Kindfield, 1991; Íñiguez y Puigcerver, 2001).

Hemos podido comprobar que gran parte del alumnado no cree que todas las células tengan cromosomas. Estos resultados coinciden con los de Engel Clough y Wood-Robinson (1985) y los de Banet y Ayuso (1995). Estos autores han comprobado que una de las concepciones presentes en los estudiantes es que los cromosomas se encuentran en determinadas células, o incluso que hay organismos, como las plantas, que no los poseen.

Las ideas de los alumnos detectadas en el pretest coinciden en parte con las obtenidas en la pregunta anterior. Muchos alumnos creen que las células sexuales son las únicas portadoras de cromosomas. También hay un número apreciable de estudiantes que cree que las células somáticas son las únicas portadoras de cromosomas.

No se observan diferencias significativas entre los grupos por lo que hace referencia a las respuestas en ninguna fase de la investigación (ver tabla 6.5.15.), aunque en el grupo EB se detecta mayor porcentaje de alumnos con ideas no correctas.

En la gráfica 6.5.3. podemos observar la tendencia de las respuestas correctas de cada agrupación en las tres fases de estudio.



Gráfica 6.5.3. Porcentaje de alumnos que consideran que todas las células poseen cromosomas.

En los dos grupos experimentales, el porcentaje de alumnos del recordatorio que consideran que todas las células tienen cromosomas es superior al registrado en el pretest, si bien se produce un descenso desde el postest. En el grupo CB el nivel registrado después de varios meses desde la docencia, es inferior al detectado en el pretest. Por el contrario, en el grupo CA se produce un incremento en cada fase de investigación.

Consideramos que los dos grupos cuya comparación puede darnos mayor información sobre la evolución de las concepciones del alumnado son EB y CB. Desde el pretest al postest la tendencia es la misma, pero ligeramente mejor en el grupo experimental: en EB se pasa de un 38.6% en el pretest a un 93% en el postest y en CB de un 45.8% en el pretest a un 89.6% en el postest, es decir, mientras que en el grupo experimental el incremento es del 54.4% en el control es del 43.8%. En la tercera fase de la investigación se produce más retención en el grupo experimental ya que hay un mayor porcentaje de alumnos que responden correctamente que en el pretest.

En estos dos grupos se observan diferencias significativas entre el pretest y el postest y no se observan entre el postest y el recordatorio (ver tabla 6.5.20. y siguientes). Estas dos circunstancias son las deseables en el caso de que se haya producido un impacto positivo de la docencia y una capacidad de retención. Sin embargo, en el grupo EB hay diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio, pero no en el grupo CB. Es decir, que en el grupo experimental hay más retención que en el control, tal y como se comentó en el párrafo anterior.

Por otra parte, la única agrupación en la que el 100% de los alumnos consideran, después de la docencia, que todas las células tienen cromosomas es en el grupo EM.

Podemos decir que, aunque no producen diferencias significativas entre las agrupaciones, los resultados presentados en la gráfica y comentados anteriormente son ligeramente mejores en las agrupaciones experimentales. No obstante, en los grupos control se produce también un cambio de concepciones debido al impacto del modelo de enseñanza tradicional.

c) ¿Qué células tienen cromosomas sexuales?

Las ideas de los alumnos sobre qué células contienen cromosomas sexuales siguen un patrón similar al detectado en las dos cuestiones anteriores. Un porcentaje mayoritario de los alumnos (63%) consideran que tan sólo las células sexuales son portadoras de dichos cromosomas. Banet y Ayuso (1995) han detectado las mismas tendencias, aunque en su estudio, el porcentaje es bastante mayor. Por tanto, las tendencias comentadas en los dos apartados anteriores se mantienen, es decir, el alumnado llega a las clases de genética con unas ideas sobre la naturaleza de los cromosomas y su localización que no se corresponden con las científicamente aceptadas. Cuando nosotros hemos interrogado sobre cromosomas sexuales específicamente, pretendíamos hacer

aflorar posibles concepciones alternativas que indican la identificación de los gametos como únicos portadores de los cromosomas sexuales. Por tanto, el papel de la propuesta didáctica que se emplee en el aula para abordar esta situación es muy importante. Lewis y Wood-Robinson (2000) también han detectado que existe confusión entre el alumnado sobre la naturaleza de los gametos y las células somáticas por lo que hace referencia a la información hereditaria.

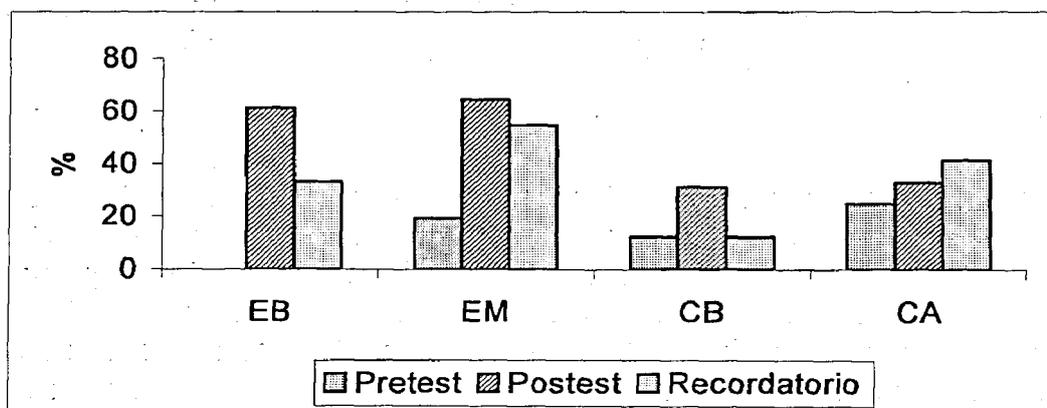
En los dos grupos experimentales se detecta que existen diferencias significativas entre el pretest y el posttest, atribuibles al impacto de la docencia, no existen entre el posttest y el recordatorio, es decir, se produce retención, y vuelven a aparecer diferencias entre el pretest y el recordatorio, es decir, no se vuelve al nivel de partida sino que se aleja de él.

Mientras que la mayoría de alumnos en el pretest consideraban que las células sexuales eran las portadoras de los cromosomas sexuales, en el posttest se produce un descenso notable y el alumnado tiene tendencia a considerar que todas las células tienen cromosomas sexuales.

En los grupos control no se produce esta evolución tan positiva, por lo que podemos decir que en los grupos experimentales el cambio en las concepciones del alumnado es debido a nuestra propuesta didáctica.

No obstante, en todas las agrupaciones persiste un porcentaje de alumnos que no han modificado sus esquemas conceptuales, lo que nos tiene que hacer pensar en la necesidad de seguir investigando en propuestas didácticas capaces de eliminar los escollos que han impedido la adopción de las nuevas ideas.

En la gráfica 6.5.4 podemos observar la evolución de las concepciones del alumnado sobre qué células tienen cromosomas sexuales en cada fase de la investigación.



Gráfica 6.5.4. Porcentaje de alumnos que consideran que todas las células poseen cromosomas sexuales.

En la gráfica se puede observar de forma clara la evolución positiva que se produce en los grupos experimentales. En el grupo EB, ningún alumno

consideraba que todas las células tuviesen cromosomas sexuales y en recordatorio aún perdura una retención considerable del 33.3%. Si lo comparamos con el grupo Control Bajo, que partía de un nivel similar en el pretest, vemos que los resultados no son tan satisfactorios. En el grupo CA sí se produce una evolución en cada momento de la investigación, especialmente sorprendente en el recordatorio, pero es este un aspecto comentado ya en otros capítulos.

Podemos concluir, por tanto, que nuestra propuesta didáctica se ha mostrado ampliamente superior al modelo tradicional en modificar las concepciones del alumnado sobre la ubicación de los cromosomas sexuales.

d) *¿En qué células hacen su función los cromosomas?*

La confusión sobre la localización de los cromosomas y los cromosomas sexuales lleva aparejada una idea no demasiado exacta sobre la función de los cromosomas (ver apartado 6.3. del presente capítulo). Por otra parte, la concepción de que las células sexuales son las únicas portadoras de cromosomas, desemboca en la idea de que sólo en algunas células los cromosomas son realmente funcionales. Estas concepciones están estrechamente relacionadas sobre la idea de información hereditaria y sobre su localización (Banet y Ayuso, 2000; Lewis et al., 2000).

Las ideas del alumnado sobre en qué células hacen su función los cromosomas son similares a las detectadas en apartados anteriores, aunque hay un mayor número de alumnos que consideran que los cromosomas hacen su función en todas las células.

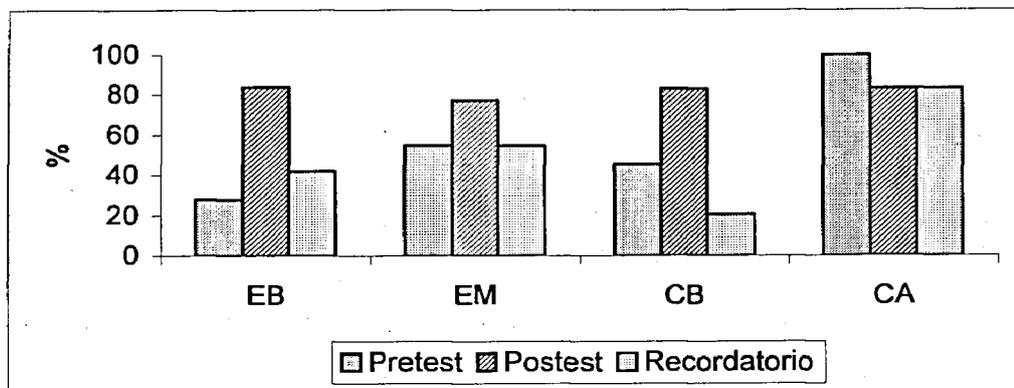
En el grupo CA todo el alumnado tienen concepciones conceptualmente correctas en el pretest y no se observan diferencias significativas a lo largo de la investigación. Ahora bien, llama la atención que en el postest, hay algunos alumnos que cambian sus concepciones hacia ideas no correctas. La singularidad de esta agrupación y, tal vez, su bajo número de individuos, junto al elevado número de alumnos que prosiguieron estudios postobligatorios quizás pueda ser causa de las peculiaridades que se observan.

Comparando los dos grupos que partían de niveles similares, es decir, EB y CB, la tendencia es positiva en ambos, justo después de la docencia, observándose diferencias significativas entre pretest y postest. Ahora bien, en EB se pasa de un 28.1% de respuestas correctas en el pretest a un 84.2% en el postest, es decir, un incremento del 56.1%. En el grupo CB se pasa de un 45.8% en el pretest al 83.3% en el postest, siendo en incremento del 27.2%. Sin embargo, en el recordatorio, se produce mucha menor retención en el grupo control que en el experimental, ya que en EB sí hay diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio, pero no aparecen en el grupo CB (ver tablas 6.5.20 y siguientes).

En el grupo EM se produce también un cambio en las concepciones del alumnado, pero mucho menor que en los grupos CB y EB y sin llegar a la significación estadística. Se parte de un nivel superior al de los dos grupos

citados y, aunque se produce un incremento de concepciones correctas en el postest, en el recordatorio se vuelve al punto de partida, ya de por sí relativamente alto.

En la gráfica 6.5.5. podemos ver la evolución de las concepciones en las diferentes agrupaciones en cada fase de la investigación.



Gráfica 6.5.5. Porcentaje de alumnos que consideran que en todas las células los cromosomas hacen su función.

En la gráfica 6.5.5. puede observarse con claridad, como en el grupo EB se produce un nivel de retención en el recordatorio superior al grupo CB, aunque en ambas agrupaciones se produce mejora después de la docencia. No obstante, el salto desde el pretest es mucho mayor en EB.

En EM se produce un incremento en el postest mucho menor que el detectado en CB y EB, y después de varios meses se vuelve al punto de inicio. En el grupo CA llama la atención el descenso después de la docencia.

e) ¿Qué células contienen genes?

Las concepciones de los alumnos sobre la ubicación de los genes están relacionadas con las ideas sobre la situación de los cromosomas. Diversos estudios (Engel Clough y Wood-Robinson, 1985; Pashley, 1994; Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lewis et al., 2000; Banet y Ayuso, 1995, 2000; Íñiguez, 2005) han detectado la dificultad que presentan los alumnos en conocer la estructura y la ubicación de los genes.

De los resultados que hemos obtenido podemos decir que un porcentaje importante considera que todas las células contienen genes (ver tabla 6.5.14), especialmente en una de las agrupaciones. Estos resultados no coinciden con los presentados por Banet y Ayuso (1995), donde sólo el 13% de los alumnos creían que todas las células tienen genes (ver tabla 6.5.14.). Las concepciones alternativas que han mostrado nuestros alumnos son concordantes con las que han mostrado en las otras cuestiones, es decir, que las células sexuales

contienen genes, aunque también algunos creen que determinadas células somáticas, como las neuronas, pueden ser únicas portadoras de genes.

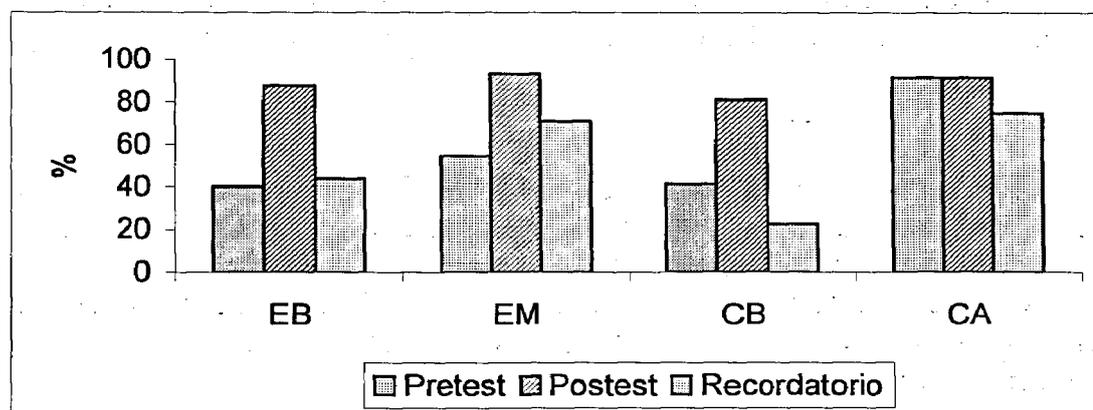
CB	CA	EB	EM	Banet y Ayuso, (1995)
41.7	91.7	40.4	54.8	13.0

Tabla 6.5.14. Porcentaje de alumnos que consideran que todas las células tienen genes, en el pretest.

El grupo CA no presenta diferencias a lo largo de la investigación porque las concepciones de los alumnos son mayoritariamente correctas y no se modifican a lo largo de la docencia ni varios meses después. En este caso, no podemos decir que exista un impacto del proceso didáctico o, en todo caso, se da para reforzar afirmativamente las concepciones.

En las otras tres agrupaciones se producen diferencias significativas entre el pretest y el posttest pero no se detectan entre el posttest y el recordatorio. Esta situación es positiva, ya que nos indica un cambio en las concepciones y una retención del mismo. Ahora bien, el único grupo que muestra diferencias entre el pretest y el recordatorio es el EM, lo que nos indica que en esta agrupación el grado de retención ha sido superior al de las agrupaciones CB y EB. Pero si comparamos los dos grupos de nivel bajo, vemos que en el experimental se produce un ligero incremento de la retención respecto del pretest, mientras que en el control hay un descenso (ver gráfica 6.5.6.).

En la gráfica 6.5.6. podemos ver claramente la evolución de las concepciones del alumnado.



Gráfica 6.5.6. Porcentaje de alumnos que consideran que todas las células tienen genes

La evolución de las concepciones en el grupo EM es la situación deseable y nos indica la eficacia que ha tenido el modelo didáctico propuesto por nosotros. Sin embargo, en la otra agrupación experimental, la evolución no ha sido tan positiva, aún siendo favorable.

El grupo CA vuelve a mostrar resultados contradictorios, ya que las concepciones en el pretest se han reforzado en el postest tras la docencia, pero en el recordatorio se produce un descenso, de la misma manera que se detectó en CB.

f) ¿Dónde se encuentran los genes?

En los apartados 6.2. y 6.4 del presente capítulo se analizaron los dibujos que los alumnos han confeccionado sobre dónde creen que se encuentran los cromosomas y los genes, respectivamente. En esta ocasión queremos analizar el lugar que explicitan de manera escrita, por lo que se han categorizado las respuestas entre las que optaban por el cromosoma y las que proponían otros lugares.

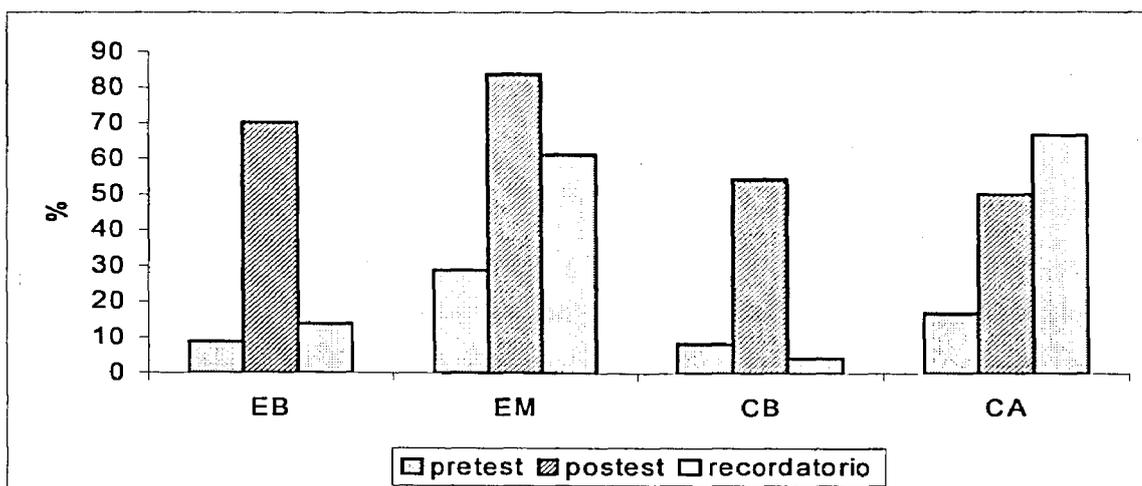
La problemática sobre el conocimiento de la localización de los genes ha sido descrita por Longden (1982), Radford y Bird-Stewart (1982), Pashley (1994a) y Banet y Ayuso (1995), pero destacaríamos el estudio de Lewis y Wood-Robinson (2000). La investigación llevada a cabo por estos autores muestra que un 11% de los alumnos cree que los genes se encuentran en los cromosomas, mientras que un 32% los sitúan de manera poco específica en las células. En menor medida, también hay estudiantes que presentan otras concepciones, como que están en el ADN o en el núcleo, sin especificar más. También han detectado un 10% de alumnos que sitúan los genes en estructuras sexuales, como los gametos.

Los resultados obtenidos por nosotros no difieren de los descritos anteriormente, ya que el 13.5% de los alumnos sitúan los genes en los cromosomas y el resto de respuestas coincide mayoritariamente con las detectadas por Lewis y Wood-Robinson (2000). Después de la docencia, se produce un cambio en la tendencia, disminuyendo el porcentaje de estudiantes que localizan los genes en otras estructuras poco precisas, como el núcleo, o bien en células sexuales, y aumenta el número de alumnos que creen que los genes se encuentran en los cromosomas.

En las cuatro agrupaciones encontramos diferencias después de la docencia, aunque en el grupo Control Bajo son marginalmente significativas. Esto quiere decir que tanto el modelo tradicional como el modelo experimental han sido capaces de modificar sus ideas sobre la localización de los genes.

Además se ha producido retención, ya que no existen diferencias entre el postest y el recordatorio en ninguna de las agrupaciones. Sin embargo, esta retención ha sido mayor en CA y EB, ya que se observan diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio, es decir, el nivel alcanzado después de varios meses de finalización de la docencia es estadísticamente superior en el recordatorio.

En la gráfica 6.5.7. se puede observar la evolución de las ideas de los alumnos por lo que hace referencia a la ubicación de los genes.



Gráfica 6.5.7. Porcentaje de alumnos que consideran que los genes se encuentran en los cromosomas en cada fase de la investigación

Podemos comprobar cómo en las cuatro agrupaciones se produce un incremento notable de respuestas que podemos considerar correctas. En los dos grupos experimentales el porcentaje es mayor, ya que en EB es del 70.2% y en EM del 83.9%, muy por encima del 54.2% de CB. Ya detectamos diferencias prácticamente significativas entre las agrupaciones en el postest ($p=0.05$), debidas a un mejor nivel de concepciones en los grupos experimentales.

Sin embargo, se produce un importante retroceso en EB y en CB en el recordatorio, mientras que en EM se mantiene un nivel relativamente alto y en CA se vuelve a dar el fenómeno detectado en apartados anteriores, en el sentido de producirse un mayor número de concepciones correctas en el recordatorio que en el postest.

Una posible explicación a las diferencias detectadas en el recordatorio entre los grupos EB y EM es la diferente distribución de alumnos en los grupos de bachillerato a los que se les administró el cuestionario recordatorio. Tal y como hemos dicho en otros apartados, los alumnos de bachillerato de ciencias puedan presentar menor resistencia a perder las nuevas estructuras conceptuales formadas tras la docencia.

A pesar del descenso importante en el recordatorio en EB, se mantiene ligeramente por encima del nivel del pretest, mientras que el grupo control comparable, CB, tiene un nivel inferior y además en el postest no crece tanto como el experimental.

Por tanto, aunque ambos modelos han sido capaces de cambiar las concepciones del alumnado tras la docencia, este cambio ha sido superior en los grupos experimentales. No obstante, en el recordatorio, la respuesta del modelo ha sido más eficaz en el grupo EM. El grupo CA sigue teniendo un

comportamiento anómalo, o al menos sorprendente, ya que en cada fase de investigación presenta niveles conceptuales mejores.

6.5.6 Análisis de las preguntas de respuesta múltiple

En este apartado analizaremos cada una de los aspectos sobre los que se exploraron las ideas de los alumnos antes y después de la docencia en forma de pregunta de respuesta múltiple. También estudiaremos las tendencias observadas en cada agrupación en las tres fases de la investigación.

1) Visión global en las tres fases de la investigación

En primer lugar mostraremos las diferencias que existen entre las diferentes agrupaciones antes de iniciar la docencia (pretest), después del proceso de enseñanza-aprendizaje (postest) y nueve meses después (recordatorio), aplicando el test de Kruskal-Wallis.

Pregunta y número de pregunta		Pretest	Postest	Recordatorio
1	<i>¿Qué células contienen información hereditaria?</i>	$\chi^2=4.048$ p= 0.256	$\chi^2=7.370$ p=0.061	$\chi^2=1.255$ p=0.740
2	<i>¿Qué células tienen cromosomas?</i>	$\chi^2=0.737$ p=0.091	$\chi^2=1.267$ p=0.737	$\chi^2=1.364$ p=0.714
3	<i>¿Qué células tienen cromosomas sexuales?</i>	$\chi^2=3.855$ p=0.278	$\chi^2=8.942$ p=0.030	$\chi^2=2.264$ p=0.520
4	<i>¿En qué células hacen su función los cromosomas?</i>	$\chi^2=21.609$ p<0.001	$\chi^2=1.810$ p=0.613	$\chi^2=5.011$ p=0.171
5	<i>¿Qué células contienen genes?</i>	$\chi^2=10.674$ p=0.014	$\chi^2=2.309$ p=0.511	$\chi^2=5.632$ p=0.131
6	<i>¿Dónde se encuentran los genes?</i>	$\chi^2=4.529$ p=0.210	$\chi^2=7.803$ p=0.05	$\chi^2=1.356$ p=0.716

Tabla 6.5.15. Diferencias significativas en cada fase de la investigación

En el pretest, ninguna de las cuatro agrupaciones (EM, EB, CB y CA) presenta diferencias en las preguntas 1, 2, 3 y 6, mientras que en las preguntas 4 y 5 sí aparecen diferencias. El motivo fundamental es que los alumnos del grupo Control Alto presentan unas concepciones bastante ajustadas al conocimiento científico, lo que provoca estas diferencias.

En el postest, aparecen diferencias significativas en la pregunta 3 y marginalmente significativas en las preguntas 1 y 6.

En el recordatorio se ha producido uniformidad en los resultados de todas las preguntas. En ninguna de las seis cuestiones analizadas se observan diferencias significativas entre las cuatro agrupaciones estudiadas. Esto podría

indicar que ninguno de los dos modelos didácticos ha sido capaz de provocar retención en el alumnado. No obstante, en los apartados siguientes analizaremos con mucho más detalle el comportamiento de cada agrupación y las respuestas dadas a las preguntas que se plantean. También mostraremos qué comportamiento tiene cada agrupación con el resto, en el caso de que hayan existido diferencias significativas en alguna de las fases de investigación.

a) ¿En qué células hacen su función los cromosomas?

Cuando comparamos grupo a grupo las respuestas dadas a la pregunta *¿En qué células hacen su función los cromosomas?*, el grupo CA se diferencia significativamente de los otros tres. Mientras que en este grupo el 100% de las respuestas son correctas, en CB son del 45.8%, en EM del 54.8% y en EB del 28.8%. Otro grupo que destaca respecto de los demás, pero por el bajo nivel detectado es EB, que también se diferencia significativamente del resto.

CA vs CB	U= 132 ;	p=0.009
CA vs EB	U= 96 ;	p<<0.001
CA vs EM	U= 102 ;	p=0.039
EB vs CB	U= 686 ;	p=0.007
EB vs EM	U= 544 ;	p=0.015
CB vs EM	U=532 ;	p=0.946

Tabla 6.5.16. Comparación grupo a grupo en el pretest de la pregunta *¿En qué células hacen su función los cromosomas?*

b) ¿Qué células contienen genes?

En la pregunta *¿Qué células contienen genes?* sucede lo mismo que lo descrito anteriormente, ya que el grupo CA tiene un nivel muy superior al resto. Sin embargo, en este caso, el grupo EB no es significativamente diferente a CB y EM, por lo que el grupo responsable de la no significación en el pretest es el CA. Mientras que el 91.7% de dicho grupo responde correctamente, en CB lo hacen el 41.7%, en EB el 40.4% y en EM el 54.8%.

Cuando analizamos los resultados en el postest de estas dos preguntas, observamos que no existen diferencias significativas, es decir, después de la docencia se ha producido una uniformización en las concepciones del alumnado. Desde el punto de vista de los grupos experimentales es importante sobretodo en la agrupación EB, que era diferente incluso a su homólogo control. El hecho de que no existan esas diferencias puede hacer pensar que se ha producido una mejora en la agrupación experimental debida a la propuesta didáctica. No obstante, en análisis posteriores acabaremos de confirmar esta posibilidad.

En la tabla 6.5.17 se observan las diferencias entre cada agrupación en el pretest.

CA vs CB	U= 110.0 ;	p=0.005
CA vs EB	U= 126.5 ;	p=0.001
CA vs EM	U= 93.5 ;	p=0.034
EB vs CB	U=887.0 ;	p=0.540
EB vs EM	U= 670.0 ;	p=0.359
CB vs EM	U=547.0 ;	p=0.742

Tabla 6.5.17. Comparación grupo a grupo en el pretest de la pregunta *¿Qué células tienen genes?*

c) *¿Qué células tienen cromosomas sexuales?*

En el postest se observan diferencias significativas claras entre los grupos en la pregunta *¿Qué células tienen cromosomas sexuales?* En este caso las diferencias son debidas al diferente tratamiento didáctico. En la tabla 6.5.18. vemos las comparaciones grupo a grupo en el postest para dicha cuestión.

CA vs CB	U= 232.5 ;	p=0.814
CA vs EB	U= 220.0 ;	p=0.083
CA vs EM	U= 115.0 ;	p=0.117
EB vs CB	U= 943.5 ;	p=0.023
EB vs EM	U= 830.0 ;	p=0.693
CB vs EM	U=496 ;	p=0.023

Tabla 6.5.18. Comparación grupo a grupo en el postest de la pregunta *¿Qué células tienen cromosomas sexuales?*

Vemos que los dos grupos experimentales se diferencian del grupo Control Bajo, aunque no lo hacen del grupo Control Alto. Consideramos que el primer caso es debido al impacto de la propuesta didáctica y en el segundo caso es debido al elevado nivel de partida del grupo CA, que se homogeneiza con los dos experimentales.

d) *¿Qué células contienen información hereditaria? ¿Dónde se encuentran los genes?*

Las cuestiones *¿Qué células contienen información hereditaria?* y *¿Dónde se encuentran los genes?* hemos detectado diferencias marginalmente significativas en el postest, especialmente en la segunda de estas preguntas, donde la probabilidad obtenida es de 0.05. En este caso consideramos que las diferencias son debidas a un mayor número de respuestas correctas de los grupos experimentales; mientras que en CB responden correctamente el 54.2% del alumnado, en CA lo hacen el 50%, en EM el 83.9% y en EB el 70.2%.

En la tabla 6.5.19 se observan las comparaciones entre las agrupaciones para la cuestión que se encuentra en el límite de la significación, *¿Dónde se encuentran los genes?*

CA vs CB	U= 231.0 ;	p=0.789
CA vs EB	U= 222.0 ;	p=0.132
CA vs EM	U= 120.5 ;	p=0.053
EB vs CB	U= 940.0 ;	p=0.062
EB vs EM	U= 750.0 ;	p=0.451
CB vs EM	U=513.0 ;	p=0.023

Tabla 6.5.19. Comparación grupo a grupo en el postest de la pregunta *¿Dónde se encuentran los genes?*

e) *¿Qué células tienen cromosomas?*

A lo largo de la investigación no detectamos diferencias significativas entre las diferentes agrupaciones, encontrando tan sólo en el pretest unos valores de la probabilidad cercana a la significación. Es necesario analizar cada agrupación por separado a lo largo de las tres fases de la investigación para poder determinar en qué sentido los dos modelos didácticos han supuesto un impacto en la transformación de las ideas del alumnado.

2) Análisis de la agrupación Control Bajo

En primer lugar determinaremos si ha habido cambio en las concepciones del alumnado en las diferentes fases de la investigación, aplicando el test de Wilcoxon. La indicación de que ha habido un cambio en las concepciones del alumnado después de la docencia es la existencia de diferencias entre los resultados del pretest y los del postest. Si se produce retención, no debería haber diferencias significativas entre el postest y el recordatorio. Finalmente, si ha habido una mejora en el postest y se produce retención, debería haber diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio. Estas reflexiones son válidas para los análisis de cada una de las cuatro agrupaciones en estudio.

Pregunta y número de pregunta		Pretest-Postest	Postest-Recordatorio	Pretest-Recordatorio
1	<i>¿Qué células contienen información hereditaria?</i>	Z=-1.831 P=0.067	Z=0.000 P=1.000	Z= - 0.758 P=0.448
2	<i>¿Qué células tienen cromosomas?</i>	Z=-3.371 P=0.001	Z=-0.577 P=0.564	Z=-1.403 P=0.161
3	<i>¿Qué células tienen cromosomas sexuales?</i>	Z=-0.197 P=0.844	Z=-2.333 P=0.020	Z=-0.378 P=0.705
4	<i>¿En qué células hacen su función los cromosomas?</i>	Z=-2.138 P=0.033	Z=-2.000 P=0.046	Z=-1.732 P=0.083
5	<i>¿Qué células contienen genes?</i>	Z=-2.840 P=0.005	Z=-1.000 P=0.317	Z=-0.577 P=0.564
6	<i>¿Dónde se encuentran los genes?</i>	Z=-1.897 P=0.058	Z=-1.000 P=0.317	Z= 0.000 P=1.000

Tabla 6.5.20. Diferencias en cada fase de la investigación en la agrupación CB.

Salvo en la cuestión 3, podemos decir que el modelo tradicional de enseñanza ha sido capaz de modificar las ideas del alumnado, aunque en las preguntas 1 y 6 se produzca marginalidad estadística. Sin embargo, no existen diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio en ninguna pregunta, lo que nos hace pensar que no se ha producido retención en el alumnado. Al estudiar las diferencias entre el postest y el recordatorio se da la circunstancia de que precisamente en la pregunta 3 sí se producen, aun no existiendo ni en pretest-postest ni en pretest-recordatorio. De hecho, la mediana del pretest y el postest es de 2, mientras que en el recordatorio es de 3. En este caso, un valor de la mediana de 3 es más deseable e indica una mayor corrección conceptual.

En la tabla 6.5.21. podemos observar la evolución de los cuartiles en cada pregunta en cada fase de la investigación. La no significación de las diferencias entre el pretest y el postest de la pregunta 3 se ve complementada con el hecho de que la mediana coincide con el pretest, correspondiendo a respuestas no correctas. Paradójicamente, en el recordatorio la mediana se corresponde a valores correctos y sí se producen diferencias significativas entre el postest y el recordatorio.

Pregunta	Mediana			Percentil 25			Percentil 75		
	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda
1	3	3	3	2	3	3	3	3	3
2	3	3	3	2	3	3	3	3	3
3	2	2	3	2	2	2	3	3	3
4	1	1	1	1	1	1	2	1	2
5	1	1	1	1	1	1	2	1	2
6	2	1	1	2	1	1	2	1	2

Tabla 6.5.21. Estadística descriptiva de la agrupación Control Bajo. (El valor deseable de mediana de las preguntas 1, 2 y 3 es 3 y el de las cuestiones 4, 5, y 6 es 1).

Aunque en las preguntas 1 y 2 la mediana del pretest coincide con la del postest, el número de alumnos que responden correctamente es superior en el postest, concretamente de un 39.6% del pretest al 70.8% en el postest en la pregunta 1, y de un 45.8% del pretest al 89.6% del postest en la pregunta 2.

En las cuestiones 4 y 5 se produce el mismo fenómeno de incremento de respuestas correctas en el postest y por lo que también se observan diferencias significativas.

3) Análisis de la agrupación Control Alto

Pregunta y número de pregunta		Pretest- Postest	Postest- Recordatorio	Pretest- Recordatorio
1	<i>¿Qué células contienen información hereditaria?</i>	Z=-0.577 P=0.564	Z=-1.414 P=0.157	Z= - 1.732 P=0.083
2	<i>¿Qué células tienen cromosomas?</i>	Z=-1.732 P=0.083	Z=-1.000 P=0.317	Z=-1.414 P=0.157
3	<i>¿Qué células tienen cromosomas sexuales?</i>	Z=-0.577 P=0.564	Z=-0.577 P=0.564	Z=-1.732 P=0.083
4	<i>¿En qué células hacen su función los cromosomas?</i>	Z=-1.000 P=0.317	Z=-1.000 P=0.317	Z=0.000 P=1.000
5	<i>¿Qué células contienen genes?</i>	Z=0.000 P=1.000	Z=0.000 P=1.000	Z=0.000 P=1.000
6	<i>¿Dónde se encuentran los genes?</i>	Z=-2.000 P=0.046	Z=-1.000 P=0.317	Z=-2.449 P=0.014

Tabla 6.5.22. Diferencias en cada fase de la investigación en la agrupación CA.

Salvo en la pregunta 6, no se detectan diferencias significativas después de la docencia, ni tampoco entre el postest y el recordatorio. Precisamente, en la cuestión *¿Dónde se encuentran los genes?* hay diferencias entre el pretest y el postest, lo que indica una mejora conceptual, ya que la mediana pasa de ser 2 a ser 1, valor indicador de la corrección conceptual. Sin embargo, no se observan entre el postest y el recordatorio, es decir, se produce retención, y aparecen diferencias entre el pretest y el recordatorio. Esta sería la situación ideal que cabría esperar si se ha producido aprendizaje significativo, ya que se produce retención en el recordatorio, hasta el punto de ser estadísticamente diferente de la situación del pretest.

No obstante, este grupo ya partía de un nivel más alto y, por tanto, con concepciones más cercanas a la corrección científica. Por tanto, partiendo de un nivel conceptual relativamente correcto es difícil detectar mejoras significativas, precisamente la óptima situación inicial no ha sido aprovechada por el modelo tradicional para acabar de conseguir mejoras conceptuales mayores en el alumnado.

En la tabla 6.5.23. podemos observar el valor de los cuartiles en las tres fases de la investigación.

Pregunta	Mediana			Percentil 25			Percentil 75		
	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda
1	3	3	3	2	2	2.75	3	3	3
2	3	3	3	2.5	3	3	3	3	3
3	2	2	2.5	2	2	2	2.75	3	3
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	2	1	1	1	1	1	2	2	1

Tabla 6.5.23. Estadística descriptiva de la agrupación Control Alto. (El valor deseable de mediana de las preguntas 1, 2 y 3 es 3 y el de las cuestiones 4, 5, y 6 es 1).

4) Análisis de la agrupación Experimental Bajo

Pregunta y número de pregunta		Pretest- Postest	Postest- Recordatorio	Pretest- Recordatorio
1	<i>¿Qué células contienen información hereditaria?</i>	Z=-1.278 P=0.201	Z=-1.190 P=0.234	Z= - 2.236 P=0.025
2	<i>¿Qué células tienen cromosomas?</i>	Z=-3.908 P=0.000	Z=-0.577 P=0.564	Z=-2.595 P=0.009
3	<i>¿Qué células tienen cromosomas sexuales?</i>	Z=-3.258 P=0.001	Z=-0.333 P=0.739	Z=-2.828 P=0.005
4	<i>¿En qué células hacen su función los cromosomas?</i>	Z=-5.209 P=0.000	Z=-0.378 P=0.705	Z=-3.464 P=0.001
5	<i>¿Qué células contienen genes?</i>	Z=-4.583 P=0.000	Z=-1.633 P=0.102	Z=-1.414 P=0.157
6	<i>¿Dónde se encuentran los genes?</i>	Z=-3.742 P=0.000	Z=-1.000 P=0.317	Z= -2.236 P=0.025

Tabla 6.5.24. Diferencias en cada fase de la investigación en la agrupación EB.

Menos en la pregunta 1, en todas las demás se producen diferencias significativas entre el pretest y el postest y además no hay diferencias entre el postest y el recordatorio. Por otra parte, en las preguntas, 2, 3, 4 y 6 hay diferencias entre el pretest y el recordatorio. Podemos decir, por tanto, que el modelo experimental propuesto por nosotros ha sido capaz de provocar un aprendizaje significativo en los conceptos relacionados con las preguntas 2, 3, 4 y 6, ya que las medianas se han situado en los valores deseables. En el caso de la pregunta 2, aunque las medianas coinciden, el porcentaje de respuestas correctas pasa de un 39.3% del pretest al 94.6% del postest. En el caso de la pregunta 5 las medianas también coinciden pero de nuevo se produce un incremento de respuestas correctas desde el 14.3% del pretest al 41.1% del postest.

En la tabla 6.5.25 podemos ver la evolución de las medianas en las tres fases de la investigación.

Pregunta	Mediana			Percentil 25			Percentil 75		
	Pretest	Posttest	Recorda	Pretest	Posttest	Recorda	Pretest	Posttest	Recorda
1	3	3	3	2	3	3	3	3	3
2	3	3	3	2	3	3	3	3	3
3	2	3	3	2	2	2	2	3	3
4	2	1	1	1	1	1	2	1	1
5	1	1	1	2	1	1	2	1	1
6	2	1	1	2	1	1	2	1	2

Tabla 6.5.25. Estadística descriptiva de la agrupación Experimental Bajo. (El valor deseable de mediana de las preguntas 1, 2 y 3 es 3 y el de las cuestiones 4, 5, y 6 es 1).

En la cuestión 1 sí hay diferencias significativas entre el pretest y el recordatorio, mientras que no aparecen en los otros momentos de la investigación. Una explicación podría ser que las concepciones detectadas en el pretest y en el recordatorio son lo bastante diferentes como para ser significativas. Esto hace pensar en un evolución de las concepciones paulatina desde el pretest hasta el posttest pero sin llegar a la significación y desde el posttest hasta el recordatorio sin producirse tampoco diferencias significativas. Pero la acumulación de esas pequeñas diferencias puede ser la responsable de la significación entre el recordatorio y el pretest.

Por otra parte, en la cuestión 5, donde se observan diferencias entre el pretest y el posttest, no se produce la retención esperada y no podemos ser tan optimistas como en el caso de las preguntas 2, 3, 4 y 6.

Observando los resultados de manera global, podemos afirmar que nuestra propuesta didáctica ha dado mejores resultados que el modelo tradicional, tal y como demuestran los valores de la tabla 6.5.24. Si los comparamos con los obtenidos por los grupos CB y CA (ver tabla 6.5.20 y 6.5.22), los resultados de la agrupación EB indican una evolución positiva de las ideas del alumnado, especialmente con la agrupación CB, que partía de un nivel conceptual similar.

5) Análisis de la agrupación Experimental Medio

Pregunta y número de pregunta		Pretest- Postest	Postest- Recordatorio	Pretest- Recordatorio
1	<i>¿Qué células contienen información hereditaria?</i>	Z=-2.500 P=0.012	Z=-1.342 P=0.180	Z= -3.207 P=0.001
2	<i>¿Qué células tienen cromosomas?</i>	Z=-1.043 P=0.297	Z=-1.000 P=0.317	Z=-1.406 P=0.160
3	<i>¿Qué células tienen cromosomas sexuales?</i>	Z=-3.441 P=0.001	Z=-0.577 P=0.564	Z=-3.15 P=0.002
4	<i>¿En qué células hacen su función los cromosomas?</i>	Z=-1.667 P=0.096	Z=-0.632 P=0.527	Z=-0.577 P=0.564
5	<i>¿Qué células contienen genes?</i>	Z=-3.051 P=0.002	Z=-1.000 P=0.317	Z=-2.333 P=0.020
6	<i>¿Dónde se encuentran los genes?</i>	Z=-3.051 P=0.002	Z=-0.816 P=0.414	Z= -1.667 P=0.096

Tabla 6.5.26. Diferencias en cada fase de la investigación en la agrupación EM.

En el grupo Experimental Medio obtenemos la situación más deseada en las preguntas 1, 3 y 5, aunque en la pregunta 6 se obtienen diferencias significativas entre el pretest y el posttest, pero no entre el pretest y el recordatorio. Sin embargo, no se han obtenido buenos resultados en la pregunta 2 y 4, cuestiones en las que el grupo EB obtuvo unos resultados deseables. Llama la atención que en la agrupación CB sí se produjesen diferencias significativas entre el pretest y el posttest para estas dos preguntas, si bien no se produjo retención.

Estos resultados nos indican que en la agrupación EM la propuesta experimental ha sido válida en algunos casos, pero no lo suficiente en otros. No obstante, es en esta agrupación y en la EB donde se producen los resultados más satisfactorios y que nos hacen confiar en la mayor eficiencia de nuestra secuencia didáctica, aun teniendo en cuenta que en algunos casos el modelo tradicional ha sido también eficaz, aunque menos potente.

En la tabla 6.5.27 podemos observar la evolución de los cuartiles en cada fase de la investigación. Podemos comprobar como, efectivamente, la mediana de las preguntas que han mostrado significación estadística, se ajusta al valor correcto después de la docencia.

Pregunta	Mediana			Percentil 25			Percentil 75		
	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda	Pretest	Postest	Recorda
1	2	3	3	2	2	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	2	3	3	2	2	2.25	2	3	3
4	1	1	1	1	1	1	2	1	2
5	2	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	2	1	1

Tabla 6.5.27. Estadística descriptiva de la agrupación Experimental Medio. (El valor deseable de mediana de las preguntas 1, 2 y 3 es 3 y el de las cuestiones 4, 5, y 6 es 1).