



Fills virtuals: una activitat per aprendre el cicle biològic humà i la diversitat que genera

Josep Maria Llorc Planchadell

Professor jubilat de l'Institut Gabriel Ferrater i Soler, Reus.

jllort1@xtec.cat

Resum • Presentem l'activitat d'aprenentatge "Fills virtuals", útil per treballar en grup i de manera manipulativa els cariotips, el cicle biològic humà i com aquest genera diversitat. L'activitat és adequada per a alumnes de l'optativa Biologia i Geologia de 4t d'ESO i de Biologia de batxillerat i es troba publicada a l'ARC del CESIRE. Els alumnes valoren positivament l'activitat i molts d'ells anomenen com a assolits els objectius d'aprenentatge. No obstant, l'activitat sembla haver contribuït a l'aparició de concepcions alternatives errònies en dos estudiants. Proposem una manera d'evitar aquest punt feble. Concloem que l'activitat "Fills virtuals" és una manera pràctica, visual i efectiva de contribuir a l'aprenentatge del cicle biològic humà i de la gran diversitat que genera. És un bon fonament per aprendre genètica mendeliana i evolució per selecció natural.

Paraules clau • Cromosomes, cicle biològic, cariotip, diversitat, gens, genètica.

Virtual Children: An activity to learn the human biological cycle and the diversity it generates

Abstract • In this article, we introduce the learning activity "virtual children", a useful group task designed for learning, in a hands-on manner, about karyotypes, the human biological cycle and how this generates diversity. The project is suitable for students of Biology in high school, and it is published on the ARC of CESIRE. The students who have participated in the activity were very pleased with the task and many of them consider that it fulfilled its learning goals. However, the task seems to have contributed to a few misconceptions in two students. In this article, we suggest a way to avoid this from happening. In conclusion, "virtual children" is a practical, visual and effective learning activity to contribute to the learning experience of the human biological cycle and the vast diversity it generates. It is a good tool for learning mendelian genetics and evolution by the means of natural selection.

Keywords • Chromosomes, biological cycle, karyotype, diversity, genes, genetics.

INTRODUCCIÓ

Hi ha autors que apunten que la comprensió del cicle biològic és un requisit fonamental per a l'aprenentatge significatiu de la genètica mendeliana (Llor, 2000). Permet entendre per què els fills s'assemblen als progenitors i més o menys als germans, però no són idèntics a ells (amb l'excepció dels bessons monozigòtics). És doncs un exemple de com els conceptes científics, a nivell microscòpic, poden servir per interpretar el món real observable. Per altra banda, la comprensió de la generació de diversitat és també un requisit per a l'aprenentatge de l'evolució per selecció natural.

La bibliografia didàctica ha descrit diverses dificultats en l'aprenentatge i concepcions alternatives sobre els cicles biològics i la genètica mendeliana a l'educació secundària. Així, Ayuso, Banet i Abellán (1996) i Banet i Ayuso (1998) van observar la idea en l'alumnat que els invertebrats i les plantes no tindrien reproducció sexual. En alguns casos, no tindrien cromosomes ni cèl·lules!

També s'ha descrit la concepció que diferents cèl·lules del mateix individu contindrien gens diferents (Wood-Robinson et al. 1998, Machová i Ehler, 2021). Cal reconèixer que, si no es disposa del concepte de commutador genètic (activació i inactivació diferencial dels gens), aquesta concepció pot semblar l'explicació més raonable als aspectes tan diferents de les cèl·lules d'un individu (Llor, 2000).

Els investigadors Banet i Ayuso van trobar la idea errònia que només s'hereten els cromosomes sexuals (Banet i Ayuso, 1995; Ayuso i Banet, 1998). Aquesta mateixa idea apareix també en alumnat català de selectivitat (Llor, 2000) i pot ser deguda a associar el nom de cromosomes sexuals amb la reproducció sexual.

Pel que fa als gàmetes, alguns estudiants entrevistats per Hackling i Treagust (1984) deien que els gàmetes portaven els dos al·lells i els dos cromosomes homòlegs d'un gen, o que els espermatozoides portaven gens per a la meitat de les característiques dels descendents.

La formació dels gàmetes es produeix per meïosi. Brown (1990) va fer que uns estudiants construïssin un model d'un parell de cromosomes homòlegs durant la metafase I, demanant que hi situessin la parella d'al·lells A/a. Brown va observar que molts alumnes situaven al·lells diferents a les dues cromàtides germanes del mateix cromosoma. Aquesta mateixa errada va ser observada per Kindfield (1991; 1994) i també en el nostre context (Llor, 2000). Kindfield va concloure que això era degut al que ella anomenà error conceptual ploïdia - estructura, la creença que les cèl·lules haploides contenen cromosomes d'una sola cromàtide, mentre les cèl·lules diploides contenen cromosomes de dues cromàtides. Els cromosomes de dues cromàtides es formarien durant la fecundació, per fusió de dos cromosomes d'una cromàtide, un de cada progenitor. Per tant, en els heterozigots els cromosomes contindrien dos al·lells diferents.

Per tal d'evitar l'error conceptual ploïdia - estructura, Kindfield (1991;1994) feia els següents suggeriments:

- Anomenar "cromosomes replicats" als de dues cromàtides i "cromosomes sense replicar" als d'una cromàtide, acompanyant les descripcions o definicions amb esquemes adients.
- Explicar clarament com es formen els cromosomes replicats.
- Presentar els canvis en estructura i nombre dels cromosomes, així com la mitosi i la meïosi, dins els contextos del cicle cel·lular i de cicles vitals concrets i coneguts.
- El professor hauria d'utilitzar esquemes clars mostrant els cromosomes i els seus canvis durant el cicle cel·lular i els cicles vitals.
- Donar als estudiants oportunitats de parlar sobre cromosomes, dibuixar cromosomes i construir-ne i manipular-ne models.

Un factor que dificulta encara més l'aprenentatge del cicle biològic és que les pràctiques de laboratori "clàssiques" difícilment van més enllà de la simple observació de preparacions microscòpiques, ja sigui de cèl·lules en mitosi o meïosi, de gàmetes o d'embrions de granota.

Per tal d'abordar la idea de cicle, l'autor va decidir generar una activitat de llapis i paper en què els alumnes haguessin de treballar en grup el cicle biològic humà. Així els estudiants manipularien, pensarien, parlarien i escriurien sobre cèl·lules, gàmetes, cromosomes, gens, genotips i fenotips mentre simulaven la mitosi, la meiosi i la fecundació.

CONTEXT EDUCATIU

L'activitat "Fills virtuals" s'ha implementat a l'optativa de Biologia i Geologia de 4t d'ESO, a la matèria de modalitat Biologia de batxillerat i també a la matèria optativa Biomedicina de batxillerat (15-18 anys). Els grups sencers d'aquestes matèries variaven entre 15 i 25 estudiants. La participació dels alumnes sempre ha estat molt satisfactòria.

Pel que fa a la seqüenciació, prèviament havíem treballat el concepte de cèl·lula, cromosomes i cariotips, el cicle cel·lular i la mitosi, la fecundació, el cicle biològic diplont i la meiosi. Es tracta de conceptes necessaris per aprendre genètica mendeliana de manera significativa (Llor 2000). L'ordre concret en què ensenyàvem aquests conceptes intentava anar del més conegut (cèl·lula) al menys conegut (meiosi), del més simple al més complex, i tenir en compte que els cromosomes juguen un paper clau en el cicle cel·lular, la fecundació i la meiosi.

L'enfocament que vam adoptar fou el del cicle d'aprenentatge (Jorba i Caselles 1996; Grau 2010).

La fase d'exploració es basava en un context, com ara una família en la qual s'havien donat casos d'una malaltia hereditària greu.

Amb els alumnes de quart d'ESO, introduïem els conceptes amb un dossier escrit i presentacions en Power Point, mentre amb els de batxillerat utilitzàvem un llibre de text i presentacions. En tots els casos, amb el recolzament d'explicacions del professor.

A la fase d'estructuració, els alumnes de quart d'ESO feien en grup mapes conceptuals (Novak i Gowin, 1988), el mural d'una cèl·lula amb uns cromosomes determinats que realitzava la mitosi i el mural equivalent d'una cèl·lula que feia la meiosi.

Tots feien exercicis supervisats i corregits pel professor.

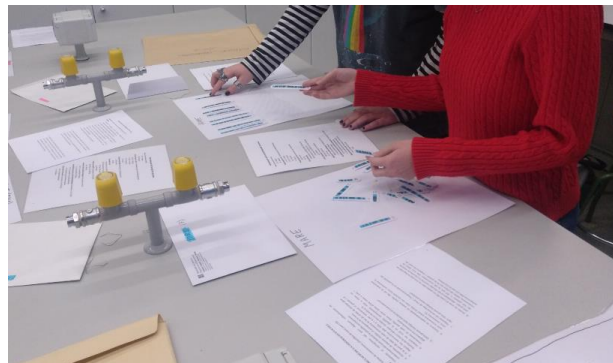


Figura 1. Alumnat fent el cariotip del pare.

L'activitat "Fills virtuals" formava part de la fase d'aplicació, en l'aprenentatge del cicle biològic. Es planteja com a activitat frontissa, perquè també dona un primer contacte amb diverses característiques hereditàries i el seu fonament genètic. Aquestes característiques hereditàries podrien ser aprofitades quan s'ensenyen els principals patrons d'herència mendeliana, en la fase d'exploració. En aquest sentit, l'activitat conté gens autosòmics i lligats al sexe, al·lels dominants i recessius, al·lels d'herència intermèdia, al·lels codominants i al·lels múltiples.

El professorat disposa d'una guia didàctica, que inclou comentaris i solucions del guió de l'alumnat a la plataforma ARC del CESIRE [1].

OBJECTIUS D'APRENENTATGE

El principal objectiu competencial de l'activitat és explicar científicament perquè els fills s'assemblen als progenitors i perquè els germans són diferents. Aquesta explicació hauria de ser argumentada i mobilitzar coneixements d'herència genètica i del cicle biològic humà.

Per altra banda, l'activitat té els objectius d'aprenentatge següents:

- Consolidar els conceptes de cromosoma, cariotip, mitosi, meiosi, gàmeta i fecundació.
- Interpretar el cicle biològic humà.
- Introduir els conceptes de genotip i fenotip.
- Veure alguns gens humans, de diversos patrons d'herència, com a introducció a la genètica mendeliana.
- Aprendre a argumentar en base a proves

DISSENY DE L'ACTIVITAT

Els cariotips s'han extret de Wikimedia Commons [2] i són de domini públic. A partir d'aquesta imatge l'autor va fer les modificacions següents:

- Numerar els dos cromosomes homòlegs de cada parella (i no la parella, com a la imatge original) per poder identificar-los individualment. L'objectiu és evitar l'error conceptual de suposar que els dos cromosomes homòlegs són un sol cromosoma amb dues cromàtides.
- En els cariotips de la mare i del pare, els cromosomes s'han situat de manera que la separació horitzontal entre ells és constant i s'han afegit línies guia verticals per a les tisores o la guillotina. La finalitat és simplificar el procés de retallar els cromosomes.
- A la part posterior d'alguns cromosomes, s'ha afegit un al·lel d'un dels gens que conté.
- Els cromosomes de la mare i del pare s'han pintat de colors diferents amb la finalitat de seguir la seva transmissió en la descendència, i fins i tot poder seguir la seva procedència des d'avis o àvies.

ÀVIA MATERNA

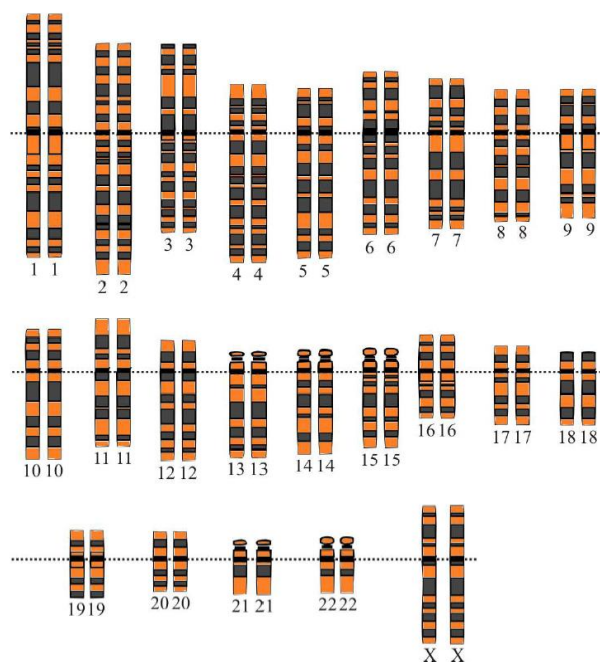
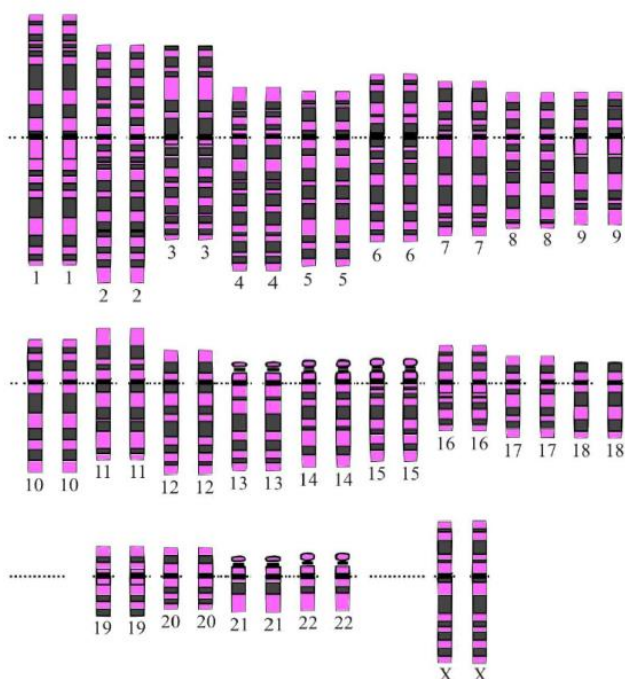


Figura 2. Cariotip de l'àvia materna. Aquest cariotip es mostra als alumnes ja finalitzat

CROMOSOMES MARE



AL·LELS MARE

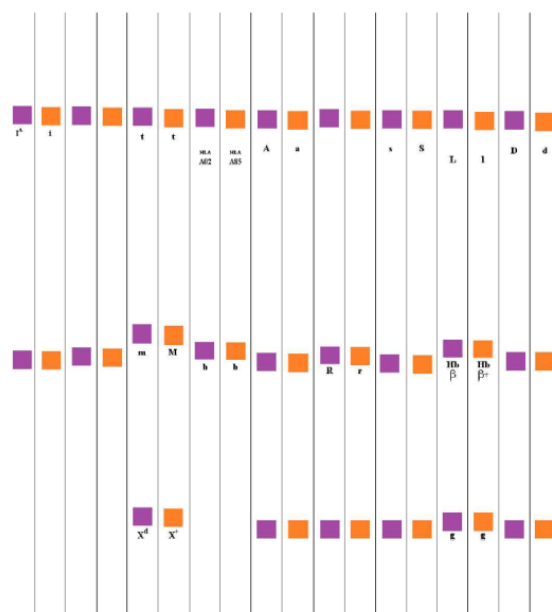


Figura 3. Cromosomes i al·lels dels gens de la mare. Un cop imprès a doble cara, el full es plastifica i es retallen els cromosomes individuals.

- S'han seleccionat gens humans que codifiquen per característiques observables (com el cabell arrissat) o conegudes i fàcilment determinables (com els grups sanguinis) i s'ha comprovat a la bibliografia que la base genètica d'aquesta característica és sòlida (McDonald 2021). En aquest sentit, s'ha descartat un gen que apareixia en la versió preliminar suposadament vinculat a la capacitat d'enrotllar la llengua (Llorc, 2023).
- S'han evitat les malalties greus, però no les alteracions lleus (com la beta talassèmia *minor*) o que, amb una dieta o un tractament adequat, pràcticament no alteren la vida de la persona que les pateix (com l'albinisme o les intoleràncies a la lactosa i a la sacarosa).
- La realitat es troba simplificada: el color dels ulls s'explica en gran part pels dos gens que es fan servir en la proposta, però no totalment, i el cabell arrissat pot ser causat també per al·lels d'altres gens. El guió de l'alumne conté un advertiment per evitar que aquesta simplificació generi malentesos.
- Hi ha com a màxim un gen en cada cromosoma perquè no vaig trobar una manera fàcil de contemplar la recombinació meiótica.

Els documents amb el material visual (cromosomes i cèl·lules) es poden consultar a l'ARC i són d'accés públic i gratuït. [1]

Genotip i fenotip de la mare	
Genotip	Fenotip
Cromosomes sexuals: XX	Sexe: femení
Gen glicosiltransferases (crom. 9): I^A	Grup sanguini: A
Gen del factor Rh (crom. 1): Dd	Rh +
Gen EYCL2 (crom. 15): bb	Ulls de color: blau
Gen EYCL1 (crom. 19): gg	
Gen MC1R (crom. 16): Mm	Color de cabell: no té el pel roig
Gen R (crom. 14): rr	Pot enrotllar la llengua? no pot
Gen TAS2R (crom. 7): tt	Sensibilitat a la FTC? no
Gen SLC45A2 (crom. 5): Aa	Pigmentació de la pell: normal
Gen Visió dels colors (crom. X): X^+X^d	Visió dels colors: normal
Gen de la lactasa (crom. 2): Tt	Intolerant a la lactosa? No
Gen de la sacarasa (crom. 3): Ss	Intolerant a la sacarosa? No
Gen HLA (crom. 6): $HLA\ 3, HLA\ 4$	Antígens HLA: 3, 4
Gen betaglobina (crom. 11): H_{γ}, H_{β}	Hemoglobina tipus: γ, β

Figura 4. El genotip i fenotip de la mare deduïts per una alumna. Els al·lels són els que s'observen a la cara posterior dels cromosomes.

DESENVOLUPAMENT DE LA PROPOSTA

Preparació

S'organitzen els alumnes en grups de 2 a 5. Cada grup rebrà el sobre d'un joc, amb el següent material:

- Plantilles plastificades en format DinA3 de cadascuna de les cèl·lules següents: Mare, Pare, Òvul, Espermatozoide i Zigot (Fill).
- Full de determinació del fenotip.
- Sobre amb els cromosomes de la mare.
- Sobre amb els cromosomes del pare.

Tot seguit, es reparteix un guió de l'alumnat a cada estudiant.

Mètode

Els grups treballen de manera autònoma, seguint les instruccions del guió de l'alumnat i responen per escrit les preguntes que conté. Cal una hora per realitzar l'activitat i uns quinze minuts més per a la posada en comú. El professorat supervisa l'activitat, resol els dubtes i dirigeix la posada en comú de les dades i l'obtenció de conclusions.

La confecció dels cariotips de la mare i el pare és una mica laboriosa. Per això va bé que treballin dos alumnes en cada cariotip.

La determinació dels fenotips es fa amb el full preparat especialment i a disposició de tot el grup. El mateix full forma part del guió de l'alumnat, per a que puguin revisar l'activitat sencera un cop acabada la classe.

Aquesta determinació dels fenotips es realitza de manera purament algorísmica, ja que els alumnes encara no han estudiat ni la dominància autosòmica ni cap altre patró d'herència. Els gens i les característiques de l'activitat poden ser aprofitats posteriorment com a contextos, per tal de generar situacions d'aprenentatge i estudiar aquests patrons d'herència.



Figura 5. Alumne descobrint, a la part posterior dels cromosomes, els genotips del zigot obtingut.

Quan l'alumnat gira els cromosomes per observar els al·lels, sovint es pregunta per què hi ha els tocs de color lila, taronja, verd o blau. Es recomana mantenir el misteri fins arribar al punt número 10 del guió. Llavors el professorat pot mostrar els cariotips pintats dels avis, ja sigui en fulls plastificats també disponible a l'ARC del CESIRE (Llor 2023).

Fills obtinguts					
Nom	Guínia	Maadai	Ària	Àpolo	Àlba
Sexe	Femení	Masculí	Femení	Masculí	Femení
Grup Sanguini	A	B	AB	O	A
Rh	+	+	-	-	+
Ulls de color	verd	marro	verd	vermell	marro
Pèl Roig?	Sí	No	No	No	Sí
Enr. llengua	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Tast FTC	No	Sí	No	Sí	Sí
Albinisme?	No	No	Sí	Sí	Sí
Daltonisme?	No	No	No	Sí	No
Int. Lactosa?	Sí	No	No	No	No
Int. Sacarosa?	No	No	No	No	Sí
HLA	2, 4	2, 3	2, 3	4, 4	2, 3
Hemoglobina	4, 4	4, 3	2, 4	4, 4	2, 3
Crom. Avi P	8			12	11
Crom. Avia P	15			11	12
Crom. Avi M	15			10	11
Crom. Avia M	8			13	12

Figura 6. Fills virtuals obtinguts pels cinc grups d'una classe de 1r de batxillerat. Tots els fills són germans (s'han obtingut dels mateixos progenitors). Tal i com passa a la realitat, els germans poden assemblar-se més o menys, però si no són bessons monozigòtics és gairebé impossible que siguin iguals.

AVALUACIÓ DE L'ACTIVITAT

Aquesta activitat fa cinc anys que s'utilitza amb alumnat de l'optativa "Biologia i Geologia" de 4t d'ESO. Posteriorment es va utilitzar també en alumnes de Biologia de batxillerat, especialment en grups on cap dels alumnes l'hagués realitzat anteriorment. L'observació de com treballaven els grups, els seus comentaris i les respostes a les preguntes que els plantejàvem sobre la marxa, ens indicaven que l'activitat era útil. El curs 2022-23 es va decidir realitzar-ne una avaluació més rigorosa. Es tractava de dues qüestions de tipus metacognitiu (Schoenfeld 1987), que havien de respondre per escrit i de manera anònima. Eren preguntes que els obligaven a reflexionar sobre els seus aprenentatges, a parlar-ne i a posar-ho per escrit:

- Què he après fent l'activitat?
- Ha estat útil l'activitat? Per què?

Es va fer l'activitat i es va passar el qüestionari, tot just acabada la posada en comú, a 18 alumnes de l'optativa de Biomedicina, de primer de batxillerat. Tots els alumnes cursaven també la matèria de modalitat Biologia i tres d'ells repetien l'activitat, ja que l'havien realitzat el curs anterior, a quart d'ESO.

Es van processar les respostes confeccionant xarxes sistèmiques (Bliss, Monk, et al., 1983).

Per a l'aspecte "Què he après" es van distingir les següents categories en les respostes (amb possible repetició):

- Coneixement del cicle biològic humà (6/18). Per exemple: "L'organització dels cromosomes d'un zigot a partir dels de la mare i pare" o "Saber-ne més del cicle biològic humà i les diferents parts".
- Diversitat originada per la reproducció sexual (11/18). Per exemple: "Al formar-se els gàmetes s'agafa aleatòriament les cromàtides i això dona variació als descendents", "Que som pràcticament un producte quasi impossible de l'atzar" o "Que d'una sola família poden sortir quasi infinites combinacions de descendència".
- Els al·lels recessius poden no manifestar-se (3/18). Per exemple: "Que una persona contingui un al·lel no vol dir que el manifesti".

- Es pot saber les característiques d'un fill analitzant els seus cromosomes (4/18). Per exemple: "Que es pot saber quines característiques tindrà el teu fill analitzant els seus cromosomes".

Sobre l'aspecte "Ha estat útil?", tots els estudiants (18/18) van contestar que sí, i dos d'ells van especificar que molt.

Pel que fa a l'aspecte "Per què (ha estat útil)", les principals categories que vam distingir (amb possible repetició) van ser:

- Perquè és pràctic (6/18). Per exemple: "Al ser una activitat pràctica s'entén millor el funcionament".
- Perquè és visual (5/18). Per exemple: "Hem comprès què és un genoma visualment".
- Perquè és divertida (3/18). Per exemple: "Perquè a part d'aprendre ens ho hem passat bé una estona".
- Perquè hem après (10/18). Per exemple: "Perquè hem après coses noves".

DISCUSSIÓ

A nivell pràctic, el principal punt feble de l'activitat és que la construcció del material necessari, especialment dels jocs de cromosomes, és laboriosa. Encara que les plantilles publicades a l'ARC faciliten molt la tasca, s'han de retallar els cromosomes un per un. Afortunadament el material, un cop confeccionat, ens podrà servir durant molts anys.

Tornant al qüestionari d'avaluació de l'activitat, és obvi que el que recollíem era la percepció dels alumnes. De cara al futur, seria interessant comprovar si realment saben fer i saben aplicar el que creuen que han après. També seria interessant esbrinar la persistència en el temps d'aquest aprenentatge.

Per altra banda, a la categoria "Què hem après" del qüestionari, mostra dues respostes interessants: "He après quins cromosomes determinen valors" i "Cada cromosoma determina una característica diferent". Aquestes respostes podrien ser acceptables a nivell d'ESO, ja que impliquen la comprensió que els gens es troben en els cromosomes, però a nivell de batxillerat es

poden considerar errades conceptuals. Probablement aquestes errades conceptuals hagin sorgit per una mala interpretació de dues característiques de l'activitat:

- Només alguns dels cromosomes tenen gens assignats. Es va fer així perquè es volia tractar característiques fàcilment comprensibles, evitar les malalties hereditàries greus i que la determinació dels fenotips s'allargués excessivament.
- En cada cromosoma s'hi veu com a màxim un gen. Això és degut a que no es va trobar una manera fàcil de tractar-hi el lligament i la recombinació meiótica.

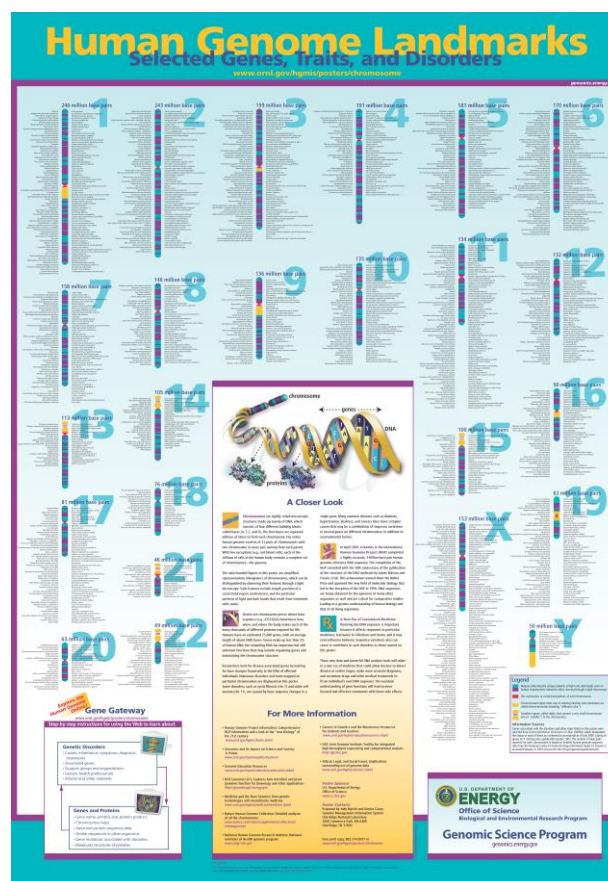


Figura 7. Pòster que mostra alguns dels gens localitzats en els cromosomes humans. Editat pel United States Department of Energy.

Per tal de dificultar l'aparició d'aquestes concepcions alternatives errònies, es proposa treballar prèviament amb els alumnes el pòster "Human Genome Landmarks", creat en anglès pel United States Department of Energy i de domini públic. Es pot demanar a l'organisme editor o

imprimir-lo en format Din A1, ja que si es projecta en una pantalla o amb un canó la lletra és massa petita. L'annex 2 conté el guió de treball d'aquest pòster, que he utilitzat amb altres alumnes. Es recomana anar presentant el pòster a cada grup i plantejar les preguntes mentre la resta de grups fan altres tasques.

CONCLUSIONS

L'activitat "Fills virtuals" permet als estudiants explicar científicament perquè els fills s'assemblen als progenitors i perquè els germans són diferents. L'activitat ha estat dissenyada tenint en compte les dificultats d'aprenentatge i els errors conceptuals descrits a la bibliografia didàctica.

La manipulació de models de cromosomes i cèl·lules, la construcció de cariotips i la simulació de la meiosi i la fecundació permeten connectar el món real observable amb els conceptes científics que l'expliquen a nivell microscòpic.

Els estudiants valoren positivament l'activitat i molts d'ells anomenen com a assolits els objectius d'aprenentatge.

El treball amb el pòster "Human Genome Landmarks" pot ser útil per evitar algunes concepcions que han sorgit durant l'activitat i que, a nivell avançat, poden ser considerades errades conceptuals.

L'activitat "Fills virtuals" és una manera pràctica, visual i efectiva de contribuir a l'aprenentatge del cicle biològic humà i de la gran diversitat que genera. Aquesta activitat és un bon fonament per aprendre genètica mendeliana i evolució per selecció natural.

AGRAÏMENTS

El meu agraïment a Pau Castillo, que m'ha permès treballar aquesta activitat amb els seus alumnes de l'Institut Gabriel Ferrater i Soler de Reus i els ha passat els qüestionaris d'avaluació. També a Gerard Folch i a Marc Llor Asens per haver revisat l'esborrany d'aquest article.

BIBLIOGRAFIA

Ayuso, E., Banet, E. i Abellán, T. (1996) Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato: II. ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios? *Enseñanza de las ciencias* 14 (2): 127-142.

<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4219>

Ayuso, E. i Banet, E. (1998) La herencia biológica en la educación secundaria: reflexiones sobre los programas y las estrategias de enseñanza. *Alambique*, (16), 21-32.

Banet, E. i Ayuso, E. (1995) Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias* 13 (2): 137-153.

<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4262>

Bliss, J., Monk, J., i Ogborn, J. (1983). Qualitative Data Analysis for educational research. A guide to uses of systemic networks. Croom Helm.

Brown, C.R. (1990) Some misconceptions in meiosis shown by students responding to an advanced level practical examination question in Biology. *Journal of Biological Education* 24 (3), 182-185.

<https://doi.org/10.1080/00219266.1990.9655138>

Grau, R. (2010) Altres formes de fer ciència. Rosa Sensat.

Hackling, M.W. i Treagust, D. (1984) Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 197-209.

<https://doi.org/10.1002/tea.3660210210>

Jorba, J. i Caselles, E. (1996). La regulació i autoregulació dels aprenentatges. ICE UAB.

Kindfield, A.C. (1991) Confusing chromosome number and structure: A common student error. *Journal of Biological Education*, 25(3), 193-200.

<https://doi.org/10.1080/00219266.1991.9655206>

Kindfield, A. C. (1994) Understanding a basic biological process: Expert and novice models of meiosis. *Science Education*, 78(3), 255-283.

<https://doi.org/10.1002/sce.3730780308>

Llor, J. M. (2000). *El Joc dels Gens: un micromón per ensenyar i aprendre genètica mendeliana*. [Tesina

del Màster en Didàctica de les Ciències Universitat Autònoma de Barcelona], pendent de publicació.

Machová, M. i Ehler, E. (2021) Secondary school students' misconceptions in genetics: origins and solutions. *Journal of Biological Education*, 57(3), 633 – 646. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1933136>

McDonald, J. H. (2012, 29 d'octubre) Myths of Human Genetics. John H. Mc Donald Homepage. <https://udel.edu/~mcdonald/>

National Institutes of Health (2006, 23 de juny) File: Karyotype.png, Wikimedia commons <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karyotype.png>

Novak, J. D. i Gowin, B. (1988) *Aprendiendo a aprender*. Ed. Martínez Roca.

Schoenfeld, A.H. (1987). What's all the fuss about metacognition? Dins Schoenfeld A. (Ed.), *Cognitive Science and Mathematics Education* (pp. 189–215). Lawrence Erlbaum.

United States Department of Energy (2015, 26 de Juliol). File: Human Genome Poster 2009 from Gene Gateway.png, Wikimedia commons.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_Genome_Poster_2009_from_Gene_Gateway.png

Wood-Robinson, C., Lewis, J., Leach, J. i Driver, R. (1998) Genética y formación científica: Resultados de un proyecto de investigación y sus implicaciones sobre los programas escolares y la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* 16(1), 43-61. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4143>

NOTES

[1] El recurs es pot trobar sencer a la plataforma ARC del Cesire: <https://apliense.xtec.cat/arc/node/31234>

[2] La imatge del Wikimedia Commons la ha proposat el National Institutes of Health (2006, 23 de juny) File: Karyotype.png <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karyotype.png>

ANNEX 1: COMPETÈNCIES I SABERS QUE ES TREBALLEN

Competències clau

- Competència personal, social i d'aprendre a aprendre: en el treball en grup i en les qüestions de tipus metacognitiu.
- Competència en ciència.

Competències específiques de Biologia i Geologia a l'ESO

- Interpretació i transmissió d'informació científica.
- Resolució de problemes.

Sabers de quart d'ESO

- Genètica i evolució

Competències específiques de Biologia de batxillerat

- 1. Argumentar amb precisió i utilitzant diferents formats, per analitzar conceptes, processos, mètodes, experiments o resultats de les ciències biològiques.
- 4. Aplicar els aprenentatges de manera integrada i les diverses formes de raonament pròpies de la ciència, per plantejar i resoldre problemes relacionats amb les ciències biològiques, cercant i utilitzant les estratègies adequades, analitzant críticament les solucions.
- 6. Descriure, integrar i relacionar els principals processos característics dels éssers vius per justificar la complexitat de la vida i desmarcar-la del que és inert.

Sabers de Biologia de batxillerat:

- La funció de reproducció: la reproducció sexual, rellevància evolutiva i els cicles biològics.
- Comparació de la funció de la meiosi i la mitosi.

ANNEX 2: GUIÓ DE TREBALL AMB “HUMAN GENOME LANDMARKS”

Aquest pòster representa els 24 cromosomes humans (22 autosomes i 2 cromosomes sexuals), amb l'aspecte que tenen al microscopi, les seves dimensions relatives i alguns dels gens que s'hi han identificat. La majoria d'aquests gens tenen el nom de la malaltia que es produeix quan el gen no funciona bé. El cromosoma Y només conté gens necessaris perquè la persona esdevingui un mascle fèril. El cromosoma X, en canvi, conté gens que necessitem tots els humans.

Observeu la part central del pòster i responeu aquestes qüestions:

- Quina substància dels cromosomes conté la informació? Com es troba “escrita” aquesta informació?
- A nivell molecular, què fan les cèl·lules amb aquesta informació?

Ara observeu els cromosomes del pòster i responeu les qüestions següents:

- Quins cromosomes tindrà una de les teves cèl·lules de la pell?
- Quins cromosomes tindrà un dels teus gàmetes (òvul o espermatozoide)?
- Quin és el cromosoma humà més gran? Quantes bases té?
- Quin és el cromosoma humà més petit? Quantes bases té?
- Més o menys la meitat de les persones no tenen un d'aquests cromosomes. Quin és? Per què?
- Sabeu què li passarà a una persona si totes les seves cèl·lules tenen un cromosoma de més o de menys? Un dels casos més lleus és la trisomia 21 (tres cromosomes 21). Busqueu informació sobre aquesta alteració.