



ESTUDI DE LA GENÈTICA DELS BESSONS UNIVITEL·LINS

XXX

Tutora: **XXX**

14 de gener de 2015

Sant Fost de Campsentelles

INS Alba del Vallès

A l'Anna, per la seva dedicació;
a l'Annick, per oferir-nos aquesta gran oportunitat;
i als nostres pares, per fer possible tot això.

*We came into the world like brother and brother;
And now let's go hand in hand, not one before another.*

William Shakespeare, *The Comedy of Errors*

Índex

	Pàg.
1 Introducció	1
2 Objectius	3
3 Marc teòric	4
3.1 La genètica	4
<u>A.</u> Què és la genètica?	4
<u>B.</u> Història de la genètica	4
<u>C.</u> La genòmica	6
○ Estructura de l'ADN	6
○ Funció de l'ADN	8
○ Els gens	9
<u>D.</u> Epigenètica	9
3.2 Divisió cel·lular	10
<u>A.</u> El cicle cel·lular	10
○ Conseqüències genètiques del cicle cel·lular	11
<u>B.</u> La mitosi	11
<u>C.</u> La meiosi	12
○ Meiosi I	12
○ Meiosi II	13
○ Conseqüències genètiques de la meiosi	13
3.3 Reproducció	14
<u>A.</u> Reproducció humana	14
○ Gametogènesi	14
○ Fecundació	15
○ Desenvolupament embrionari	15
○ Gestació	16
○ Desenvolupament post embrionari	16
3.4 Els bessons	16
<u>A.</u> Altres tipus de bessons	17
○ Bessons semi idèntics	18
○ Siamesos	18
○ <i>Mirror image twins</i>	18

○ <i>Superfecundation</i>	18
○ <i>Superfetation</i>	19
○ <i>Parasitic twins</i>	19
3.5 Els bessons univitel·lins	19
<u>A.</u> Classificació	19
<u>B.</u> Semblances i diferències	20
○ Influència genètica	20
○ Influència del medi ambient	21
<u>C.</u> Conseqüències de presentar el mateix genoma	21
○ Individualitat	22
○ Comportament	22
○ Gelosia	22
○ Vincle dels bessons	23
○ Separació dels bessons	23
<u>D.</u> Curiositats i falsos mites	24
○ Empremta dactilar	24
○ Com saber si es tracta de bessons univitel·lins o bivitell·lins	24
○ Interacció dels bessons al ventre de la mare	25
○ L'herència de tenir bessons	26
○ Qui és el gran?	26
○ Bessons univitel·lins i homicidis	27
○ Telepatia	27
4 Part experimental	29
4.1 Què és el CRG?	29
4.2 Què és una seqüència Alu?	29
4.3 El nostre experiment	31
<u>A.</u> Mòdul I: Extracció de l'ADN	32
<u>B.</u> Mòdul II: Amplificació de l'ADN	33
<u>C.</u> Mòdul III: Electroforesi	34
4.4 Anàlisi dels resultats	35
4.5 Altres proves	36
5 Conclusions	38
6 Bibliografia	40

1. Introducció

Any 1998: érem les dues i la nostra mare davant un mirall. Ella, tossuda, repetia un i cent cops la mateixa pregunta “Laura qui és?”, tot senyalant el seu reflex i, després, “María qui és?”. Tot i la seva insistència no escoltava la resposta esperada: “una nena” o, en el millor dels casos, “jo mateixa”. En comptes d’això, la María sempre responia que era la Laura, i a l’inrevés.

En veure la nostra imatge reflectida en aquell mirall no veiem una nena qualsevol ni tampoc pensàvem que ens observàvem a nosaltres mateixes, sinó que veiem la nostra germana mirant-nos fixament i imitant cadascun dels nostres moviments.

Això pot semblar una simple anècdota, un fet que es va solucionar amb una mica de temps i paciència. A nosaltres, però, ens ha omplert el cap de preguntes amb el pas dels anys: per què ens assemblen o ens assemblàvem fins al punt d’arribar a confondre’ns?, què causa aquestes similituds? i, també, quina és la causa de les nostres diferències?. Tots aquests interrogants es troben inscrits als nostres gens. Així doncs, per trobar respostes no hi ha millor opció que endinsar-nos al món de la genètica. Per aquest motiu vam proposar realitzar aquest treball conjuntament i el vam voler encapçalar amb el títol *Estudi de la genètica dels bessons univitel·lins*.

Enguany, la tutora d’aquest projecte, Anna Iglesias, va proposar als alumnes que cursàvem batxillerat científic la possibilitat de participar en un programa de formació científica, tecnològica i matemàtica dirigit pel Departament d’Ensenyament de la Generalitat de Catalunya. Sense dubtar-ho, vam omplir el formulari d’inscripció adreçant-nos a l’Institut d’Investigacions Biomèdiques de Barcelona, tot redactant el breu escrit de motivació que es demanava. En aquest vam exposar breument el tema que volíem tractar i el perquè dels nostres interessos.

Arribà el dia en què la nostra tutora ens va donar dues notícies, una de dolenta i una de bona. La primera era que havia rebut una trucada del centre al qual havíem enviat l’escrit i que la nostra petició no era compatible amb les competències d’aquest. Això no va ser un inconvenient quan ens va anunciar la notícia positiva: l’encarregada d’administrar aquest programa a l’Institut d’Investigacions Biomèdiques va valorar la nostra proposta i va posar-nos amb contacte amb el Centre de Regulació Genòmica de Barcelona (CRG). Així la nostra tutora

acordà amb Annick Labeeuw, encarregada del departament de comunicació i relacions públiques del CRG, una entrevista per concretar com i quan seria la nostra estada al centre.

Molt entusiasmades amb la gran oportunitat que se'ns va oferir, el dia 14 d'abril vam visitar la institució i vam establir amb l'Annick que realitzaríem la part pràctica del nostre treball als laboratoris del CRG del dia 30 de juny al 4 de juliol.

Sabent en què consistiria la part experimental, vam estructurar el treball en diversos apartats. Vam decidir exposar en primer lloc els objectius que desitgem assolir amb la realització del treball i tot seguit redactar un marc teòric on es tracten diversos temes de l'àmbit de la genètica per poder centrar-nos en el tema principal que dóna nom al nostre treball. A la següent part vam establir explicar la part experimental i, per últim, incloure un apartat de conclusions i una bibliografia.

Per concloure, esmentar que l'oportunitat de realitzar aquest treball en cooperació i poder experimentar en un laboratori de recerca ens aporta un gran entusiasme a l'hora de treballar en el projecte. És una gran oportunitat per a nosaltres conèixer més sobre qui som i també aclarir dubtes sobre el nostre futur. A més, a totes dues ens interessa molt l'àmbit de la recerca científica i dedicar-nos en un futur a la investigació és una opció que ambdues tenim present.

2. Objectius

Són diversos els objectius que plantejem a l'hora d'iniciar aquest treball. Primerament, la tria d'aquest tema té un objectiu principal, com és **conèixer més sobre nosaltres mateixes** i sobre allò que ens fa ser qui som: els nostres gens. La genètica és allò que diferencia els éssers humans en major o menor grau i, a causa de les nombroses similituds que trobem entre nosaltres dues, volem endinsar-nos en aquest àmbit per saber fins a quin punt ens assemblem.

En segon lloc ens agradaria **aprendre a estructurar un treball de recerca**, saber cercar i seleccionar la informació adient i redactar-la de forma entenedora. Esperem que l'experiència de treballar juntes contribueixi a millorar aspectes com la cooperació, l'organització de la feina i la valoració dels diferents punts de vista vers una idea.

Un tercer objectiu és, mitjançant aquesta recerca d'informació, aconseguir **desfer-nos dels falsos mites sobre bessons**. Tenim moltes qüestions no resoltes sobre aquest tema com per exemple qui és més gran de les dues o l'herència de la probabilitat de tenir bessons. Per tant, seria positiu haver resolt aquests dubtes en finalitzar el treball.

Atès a què el CRG ens ha obert les portes als seus laboratoris ens hem proposat un altre objectiu: aprendre a **treballar amb un cert grau d'autonomia en un laboratori**. Aquest inclou diversos subobjectius, com conèixer els estris de laboratori més adients en cada cas, aprendre a interpretar un protocol, atènyer-nos a les normes del laboratori i a les mesures de seguretat, assumir certa responsabilitat...

Per últim, respecte a la part experimental d'aquest treball, esperem **realitzar l'extracció del nostre ADN** per estudiar la seqüència ALU PV92 del cromosoma 16. En cas d'obtenir uns bons resultats podrem comprovar que, tal com la genètica dels bessons univitel·lins indica, aquests coincideixen.

Esperem assolir tots els objectius proposats i superar amb èxit els inconvenients que puguin esdevenir durant la realització del treball.

3. Marc teòric

3.1 La genètica

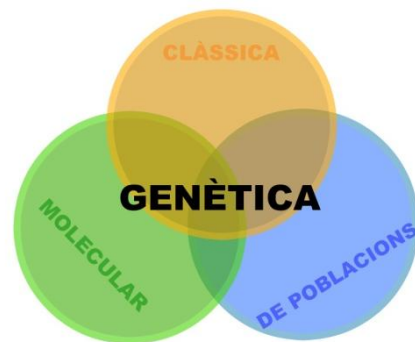
A. Què és la genètica?

La genètica és la branca de la biologia que estudia l'herència i la variació dels caràcters dels éssers vius, així com el material hereditari en tots els seus nivells i dimensions.

L'estudi de la genètica es divideix en tres subdisciplines bàsiques.

La **genètica clàssica** o **mendeliana** estudia els gens i cromosomes com a tals, la seva composició i com es transmeten de generació en generació.

La **genètica molecular** estudia l'ADN, la seva composició i la seva forma de duplicar-se. Estudia també els gens des del punt de vista molecular.



La **genètica de poblacions** explora la composició de grups de membres individuals de la mateixa espècie i com aquesta composició canvia amb el temps i l'espai geogràfic.

B. Història de la genètica

A l'Antiga Grècia va sorgir la teoria de la **pangènesi** de la mà d'Anaxàgores, Demòcrit i els tractats hipocràtics. Aquesta defensava que cada òrgan i estructura del cos produïa **gèmmules**, que eren petits sediments que arribaven als gàmetes¹ a través de la sang. La fusió de les gèmmules de les cèl·lules formaria un nou individu.

Un segle després Aristòtil proposà altres teories que refusaven l'anterior. Per a ell al semen masculí es trobaven acumulades partícules heretades de generacions anteriors i aquestes, en unir-se al flux menstrual durant la fecundació, formaven els nous éssers.

A partir del segle XIX, la hipòtesi més acceptada va ser la de l'**herència per mescla**. Sostenia que en unir-se òvul i espermatozoide es combinaven les característiques de cada individu.

1. Gàmetes: són cadascuna de les cèl·lules haploides produïdes pels òrgans germinals dels mascles o les femelles que es fusionen en la reproducció sexual

La genètica moderna no aparegué com a tal fins a l'any 1866, quan el monjo austríac Gregor Mendel realitzà el seu estudi de pèsols amb el qual va aconseguir entendre, i posteriorment publicar en una obra, les **lleis bàsiques de la genètica**.

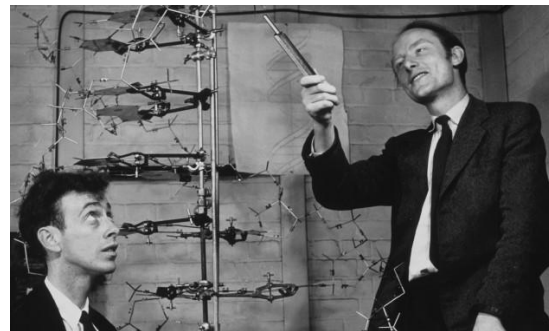


Gregor Mendel (1822-1884)

Tot i que els coneixements de Mendel van suposar un gran avanç, faltaven encara molts conceptes a definir. Va ser Morgan qui va parlar per primer cop de l'existència de la molècula d'ADN i acabà definint el concepte de cromosoma. Tot això va ser possible gràcies als experiments que realitzà amb la mosca del vinagre, que conduïren a l'elaboració per part d'aquest autor de la **teoria cromosòmica de l'herència**.

Posterior a la teoria de l'herència cromosòmica va néixer la **teoria un gen – un enzim**, que explicava com cada seqüència de gens es tradueix en una seqüència de proteïna. Més tard es descobriria que no tots els gens es tradueixen en proteïnes, sinó que hi ha alguns gens reguladors i operadors que s'encarreguen de controlar la traducció dels gens estructurals, els que es tradueixen en una seqüència proteica.

L'any 1942, gràcies a un estudi de bacteris, es revelà que els gens són formats per ADN i que aquest és situat al nucli de les cèl·lules. Anys després, el 1953, fou descoberta l'**estructura de la molècula d'ADN** per James Watson i Francis Crick.



James Watson i Francis Crick al costat d'un dels seus models de la molècula de l'ADN en el Laboratori Cavendish de Cambridge l'any 1953

Als anys 70 es van obrir les portes al món de l'**enginyeria genètica**. Després d'uns anys d'investigació, els científics van poder utilitzar aquests coneixements a la dècada dels 80 amb finalitats mèdiques. Va ser possible identificar els gens que causen malalties concretes, fet que inicià la recerca d'una solució per a aquestes malalties.

L'any 1990 fruit de la cooperació científica internacional va sorgir el **projecte Genoma Humà**, que aconseguí donar amb importants dades sobre els nostres gens.

La genètica avançà exponencialment i l'any 1996 va néixer l'ovella Dolly, el primer mamífer clònic. Començà a partir d'aquest moment el cultiu de plantes transgèniques², que revolucionà la indústria del moment.



Ovella Dolly

L'any 2003 ja s'havia aconseguit desxifrar el 99% del genoma humà, el qual resulta molt útil per a elaborar informes genètics individualitzats, detectar i tractar diverses malalties.

Des d'aquest moment fins a l'actualitat la genètica ha estat un gran camp en el qual investigar per a la cura de malalties, l'alteració de productes, etc.

Veiem doncs que la història de la genètica s'inicià en temps molt passats i té un paper fonamental al nostre futur.

C. La genòmica

Un cop desxifrat el genoma humà l'any 2003 es pot dir que sorgeix la genòmica, que consisteix en l'estudi del **genoma** d'un organisme juntament amb la seva funció.

En l'àmbit de la genòmica no dubtem en afirmar que el concepte de genoma és el més rellevant i és necessari, doncs, saber a què es refereix. El genoma de qualsevol ésser viu és el conjunt de característiques genètiques que el diferencien dels altres individus. No podem parlar però del genoma sense conèixer a fons l'ADN, qui determina aquestes característiques que ens fan únics.

Estructura de l'ADN

L'ADN (**àcid desoxiribonucleic**) és un àcid nucleic la funció del qual és l'emmagatzematge d'informació genètica. Des d'un punt de vista químic l'ADN es compon de petites unitats anomenades **nucleòtids** formades per una pentosa (la desoxiribosa), un grup fosfat i una base nitrogenada, que pot ser adenina, guanina, citosina o timina.

2.Transgènic: és un organisme genèticament modificat, és a dir, que se li ha canviat la informació del seu material hereditari (ADN)

Aquestes bases s'uneixen amb les d'una altra cadena mitjançant enllaços dèbils, que es produeixen sempre entre l'adenina i la timina, o bé, entre la citosina i la guanina. Aquests parells de bases s'anomenen **bases complementàries**.

Mitjançant la unió d'aquestes es dona lloc a una estructura en forma de doble hèlix, formada per dues cadenes de nucleòtids simples que són antiparal·leles, és a dir, que tenen direcció oposada; l'ADN.



Estructura de l'ADN

A l'ADN, que és situat generalment al nucli de les cèl·lules eucariotes³, es distingeixen tres nivells estructurals. L'estructura primària de l'ADN és la **seqüència de nucleòtids**, formant una única cadena. La segona estructura està formada per dues cadenes enrotllades formant una **doble hèlix** i, per últim, a l'estructura terciària de l'ADN la fibra anterior es retorça sobre ella mateixa formant una **superhèlix**. Trobem aleshores l'ADN superenrotllat.

És necessari però seguir condensant l'ADN per encabir-lo al nucli de la cèl·lula eucariota. En aquest moment intervenen unes proteïnes anomenades **histones** i sorgeixen així diversos nivells d'empaquetament. Al primer nivell l'ADN en estructura de doble hèlix s'associa a les histones formant una estructura semblant a un **collaret de perles**, al segon aquesta estructura s'enrotlla sobre si mateixa formant el que s'anomena **solenoide**. Per últim, al tercer nivell la fibra ja enrotllada forma una sèrie de bucles, anomenats **dominis estructurals en forma de bucle**.

Al nucli cel·lular trobem l'ADN en forma de **cromatina**, que està constituïda per tots els filaments d'ADN en diferents graus de condensació. En el moment de la divisió cel·lular cada filament de cromatina dona lloc a un **cromosoma**, que és una estructura en forma de bastonet que facilita el repartiment de la informació genètica continguda a l'ADN de la cèl·lula mare entre les seves dues cèl·lules filles.



Empaquetament de l'ADN

4. Cèl·lula eucariota: cèl·lula que posseeix un nucli amb membrana nuclear ben diferenciat del citoplasma

Funció de l'ADN

L'àcid desoxiribonucleic realitza diverses funcions que cal conèixer per entendre la genètica. La funció principal és emmagatzemar la informació genètica per tal que, quan la cèl·lula es divideix, les cèl·lules filles siguin idèntiques a la progenitora. Quan es produeix la divisió cel·lular es duu a terme la duplicació o **replicació de l'ADN**, on les dues cadenes que el formen se separen i cadascuna serveix de motlle per formar la seva cadena complementària. Així, cada base nitrogenada s'aparella amb un nucleòtid que conté la base complementària. D'aquesta manera les dues molècules d'ADN resultants són idèntiques.

Al nucli de les cèl·lules resideix gran part de l'ADN i no en surt. Així doncs, és necessari l'existència d'una molècula capaç de traslladar aquesta informació al citoplasma de la cèl·lula per tal que es pugui dur a terme la síntesi de proteïnes. Aquesta molècula s'anomena **ARN⁴ missatger**.

L'ARN missatger és monocatenari, bàsicament lineal, i té la funció de copiar la informació que resideix a l'ADN i transportar-la fins als ribosomes, on es sintetitzaran les proteïnes. El procés que permet transmetre la informació de l'ADN a l'ARN s'anomena **transcripció**. Aquest s'inicia amb un enzim, l'ARN polimerasa, que obre la doble hèlix de la molècula d'ADN i es desplaça per una de les cadenes, que s'anomena cadena patró. Un cop transcrit el segment d'ADN, es desprèn la cadena d'ARNm i surt del nucli. Després, es torna a formar la doble hèlix d'ADN.

Un cop l'ARN ja es troba al citoplasma de la cèl·lula, es duu a terme la **traducció**, que és el procés on els ribosomes llegeixen la informació per poder sintetitzar una determinada proteïna. En la traducció intervenen l'ARN missatger, l'ARN de transferència i els ribosomes que es troben al citoplasma.

La funció de l'**ARN missatger** és determinar l'ordre en què s'uniran els aminoàcids per formar la proteïna, ja que conté la informació de l'ADN. L'ARNm està constituït per bases nitrogenades i cada conjunt de tres bases consecutives s'anomena **codó**.

L'**ARN de transferència** té com a funció transportar els aminoàcids específics fins als ribosomes. Per a cada aminoàcid hi ha un ARNt específic i cada grup de tres bases nitrogenades s'anomena, en aquest cas, **anticodó**. L'aparellament dels codons de l'ARNm i els anticodons de l'ARNt es produeix als **ribosomes**, els aminoàcids se situen de la manera correcta i s'uneixen per formar una proteïna. El conjunt de codons de l'ARNm i els aminoàcids corresponents és el que es coneix com a **codi genètic**.

4.ARN: àcid nucleic format generalment per una cadena de nucleòtids que conté ribosa

Els gens

El gen és la **unitat estructural de l'herència**, essencial per a una funció específica. Des del punt de vista químic, parlem d'una cadena lineal de nucleòtids. La seva funció és emmagatzemar informació capaç de patir replicació, mutació i expressió, i transmetre-la a la descendència. Habitualment, un gen desenvolupa la seva funció mitjançant la transcripció i la traducció. Així, a partir de la informació gènica es construeix la proteïna que codifica el gen.

Coneguts els conceptes d'ADN, cromosoma i gen ja podem definir el **genoma** d'un organisme com la seqüència d'ADN corresponent a un conjunt complet de cromosomes en un individu típic, incloent-hi gens i ADN sense funció codificadora.

D. Epigenètica

"L'epigenètica sempre ha estat totes les coses estranyes i meravelloses que no poden ser explicades per la genètica." Denise Barlow (Viena, Àustria)

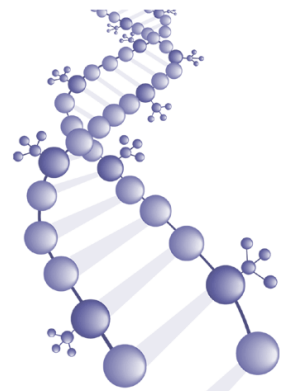
La paraula *epigenètica* vol dir 'per sobre dels gens', i va ser establerta pel paleontòleg escocès Conrad Hal Waddington per designar l'estudi de les interaccions entre el **genotip** i el **fenotip**, és a dir, entre la informació codificada als gens i aquella que efectivament s'expressa.

L'epigenètica no fa referència a canvis en la seqüència dels gens, però sí a certes modificacions dins el material genètic que poden influir en l'expressió d'aquests gens. Aquestes modificacions són degudes generalment al factor entorn o ambient, com per exemple l'alimentació o les temperatures, i també a factors emocionals.

Avui en dia l'epigenètica és una branca molt activa al món de la investigació. La **institució Epigenoma Humà** és un projecte multinacional científic que té com a objectiu l'estudi de l'epigenoma i la construcció d'un mapa complet d'aquest. L'inconvenient és que amb un únic genoma podem trobar diferents epigenomes, tal com veiem als bessons univitel·lins, el que dificulta enormement la tasca.

HEP

Human
Epigenome
Project

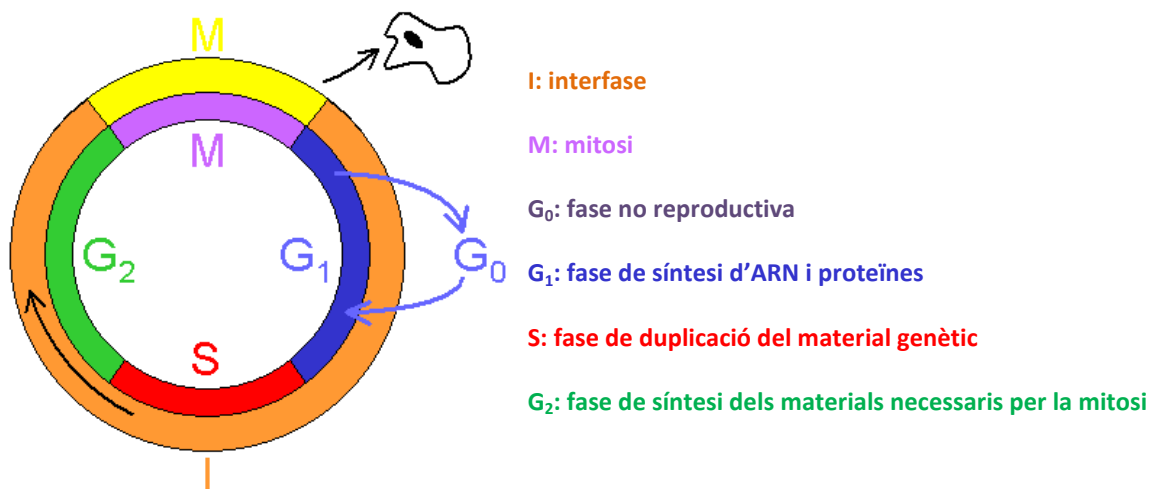


3.2 Divisió cel·lular

A. El cicle cel·lular

El cicle cel·lular és una sèrie de processos bioquímics que es duen a terme dins la cèl·lula eucariota en el període contingut entre una divisió cel·lular i la següent. Aquest es divideix en tres parts que presenten diverses etapes:

- **Interfase:** coincideix amb el període de temps en què la cèl·lula es prepara per dividir-se. Tot i que amb el microscopi òptic només es pot observar una activitat escassa, la cèl·lula està sintetitzant ADN, produint ARN i duent a terme centenars de reaccions químiques. Es divideix en una **fase G₁**, on es sintetitza ARN i proteïnes, una **fase S**, en la qual es duplica l'ADN, i una **fase G₂**, on continua la síntesi d'ARN i proteïnes.
- **Fase M:** en aquest estadi la cèl·lula es divideix. Compren dos processos estretament vinculats: la **mitosi**, on els cromosomes es dupliquen i es distribueixen als pols de la cèl·lula mentre aquesta comença a dividir-se en dos; i la **citocinesi**, que consisteix en la divisió física del citoplasma dels orgànuls en dues cèl·lules filles.
- **Període G₀:** la cèl·lula s'especialitza i no és capaç de reproduir-se o no és estimulada per a fer-ho. És un procés genèticament determinat, format per processos bioquímics i funcionals successius, coordinats i independents.



Conseqüències genètiques del cicle cel·lular

Mitjançant el cicle cel·lular, a partir d'una cèl·lula se'n produeixen dues més, que són **idèntiques genèticament** i també a la progenitora. Això és degut al fet que es fa una còpia exacta de cada molècula d'ADN durant la fase S. Un altre fet a destacar des del punt de vista genètic, és que les cèl·lules resultants tenen el mateix nombre de cromosomes que la seva progenitora. A més, cadascuna de les cèl·lules resultants conté aproximadament la meitat del citoplasma i orgànuls de la cèl·lula inicial i, per tant, no totes les cèl·lules són idèntiques pel que fa al contingut citoplasmàtic.

B. La mitosi

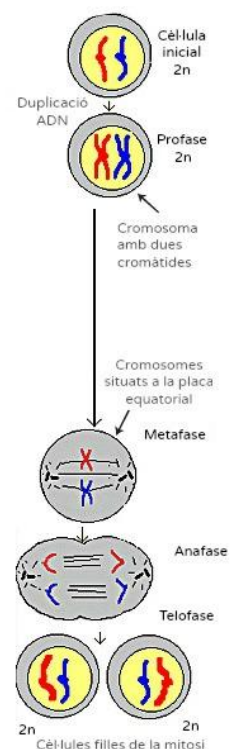
La mitosi és el tipus de **divisió cel·lular** que es produeix quan s'han de generar cèl·lules amb el mateix nombre de cromosomes que la cèl·lula mare.

En els éssers diploides es pot definir com un procés mitjançant el qual d'una cèl·lula amb $2n$ cromosomes s'obtenen dues cèl·lules de també $2n$ cromosomes, on n és el nombre de tipus diferents de cromosomes. A causa de la mitosi, en els éssers pluricel·lulars totes les cèl·lules somàtiques tenen la mateixa dotació cromosòmica que el zigot, és a dir, que la primera cèl·lula de l'organisme. La mitosi es divideix en quatre fases:

Profase: a l'interior del nucli cel·lular la cromatina comença a condensar-se formant els cromosomes. En aquesta fase, els cromosomes apareixen envoltats de microtúbuls i comencen a organitzar-se dos centrosomes, orgànuls cel·lulars encarregats d'organitzar els microtúbuls dins la cèl·lula.

Metafase: els centrosomes es col·loquen als pols oposats de la cèl·lula i, interactuant amb els microtúbuls, influeixen en el seu allargament i la seva orientació. Cada microtúbul, al seu torn, s'uneix al centròmer, que és el punt d'unió entre les dues cromàtides d'un cromosoma. Es forma així el fus mitòtic al qual estan unides totes les cromàtides.

Anafase: els microtúbuls s'escurcen arrossegant amb ells les cromàtides a les quals estan units. Els cromosomes es divideixen en dos i migren als pols.

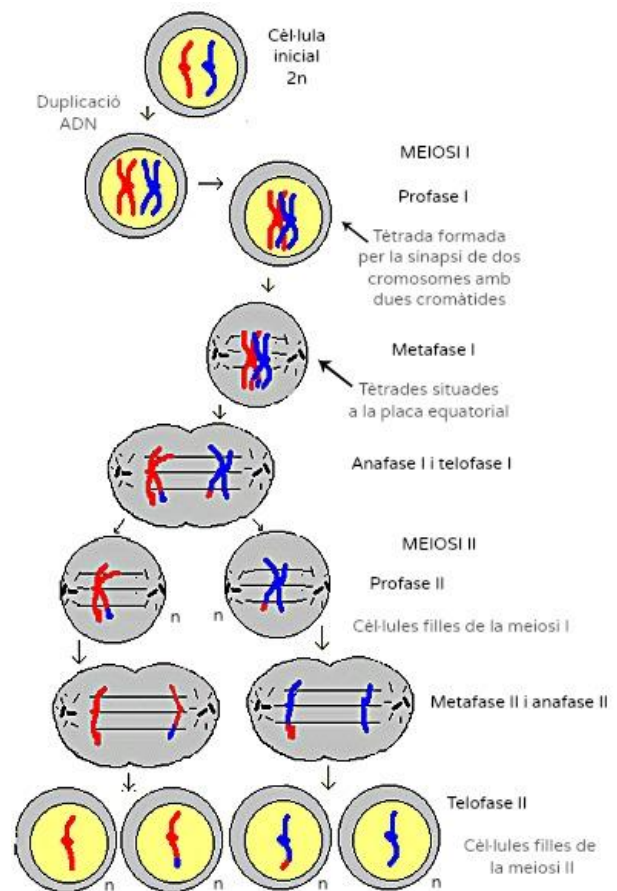


Telofase: mentre els cromosomes es desespiralitzen, es tornen a formar les membranes nuclears, es recomponen els orgànuls i es produeix la citocinesi. D'aquesta manera, la cèl·lula mare es divideix creant dues cèl·lules filles idèntiques a ella, tot i que amb dimensions més petites.

C. La meiosi

Mitjançant la meiosi, partint d'una cèl·lula somàtica amb un nombre determinat de cromosomes es produeixen quatre gàmetes amb els seus jocs de cromosomes reduïts a la meitat. En aquest procés, sobretot durant la primera fase (profase I), es produeixen intercanvis del material genètic entre les cromàtides properes.

Igual que la mitosi, la meiosi és precedida d'un **període d'interfase**. La meiosi consisteix en dues fases diferents, la meiosi I i la meiosi II, cadascuna de les quals inclou una divisió cel·lular. La primera divisió, que té lloc al final de la **meiosi I**, s'anomena **divisió reductora** perquè el nombre de cromosomes per cèl·lula es redueix a la meitat. La segona divisió és una **divisió equacional**, ja que les cèl·lules filles tenen el mateix nombre de cromosomes que la cèl·lula mare.



Meiosi I

- **Profase I:** des del punt de vista genètic, hi ha dos aspectes importants en aquesta fase. En primer lloc, els membres homòlegs de cada parella de cromosomes es troben i pateixen la

sinapsi. En segon lloc, hi ha un procés d'intercanvi, anomenat entrecruament, entre els homòlegs.

Es divideix en cinc subestadis: el **leptotè**, on es produeix la condensació dels cromosomes; el **zigotè**, que correspon amb l'aparellament de cromosomes homòlegs, estructura que s'anomena tètrada; el **paquitè**, quan es produeix l'entrecruament i s'intercanvia la informació genètica; el **diplotè**, on les cromàtides comencen a separar-se però romanen en contacte en determinats punts anomenats quiasmes; i la **diacinesi**, quan es produeix la terminalització, és a dir, els cromosomes se separen i els quiasmes es desplacen cap als extrems.

- **Metafase I:** els parells de cromosomes homòlegs s'alineen al llarg de la placa equatorial i els microtúbuls s'uneixen als cromosomes dels parells homòlegs.
- **Anafase I:** la meitat de cada tètrada, que és una parella de cromàtides germanes i s'anomena díada, se separa fins cadascun dels pols de la cèl·lula en divisió.
- **Telofase I:** apareix la membrana nuclear que recobreix cada sistema, els cromosomes es descondensen i succeeix la citocinesi. Cada cèl·lula filla té la meitat de cromosomes que la progenitora, però presenta encara els cromosomes formats per dues cromàtides.

Meiosi II

- **Profase II:** comença a desaparèixer la membrana cel·lular, es condensa la cromatina i es forma el fus acromàtic.
- **Metafase II:** els cromosomes es disposen a la placa equatorial.
- **Anafase II:** es divideixen els cromosomes, quedant així les dues cromàtides per separat. Les cromàtides germanes de cada díada se separen cap als pols oposats.
- **Telofase II:** reapareixen les membranes nuclears i desapareix el fus acromàtic. Els cromosomes es desespiralitzen i es produeix la citocinesi. S'obtenen així quatre cèl·lules haploides que contenen diferent informació genètica.

Conseqüències genètiques de la meiosi

La meiosi és el procés mitjançant el qual s'obtenen **cèl·lules especialitzades** per a intervenir en la reproducció sexual. A més, **redueix a la meitat el nombre de cromosomes**, i així en unir-se les dues cèl·lules sexuals, torna a restablir-se una **recombinació de la informació genètica**.

3.3 La reproducció

La reproducció, una de les tres funcions vitals dels éssers vius, és la **capacitat de produir nous individus**. Es pot fer una distinció entre la **reproducció asexual**, que la realitza un sol progenitor, no intervenen òrgans reproductors ni cèl·lules especialitzades i els descendents són idèntics entre si i al progenitor; i la **reproducció sexual**, que la realitzen més d'un progenitor, intervenen òrgans reproductors i cèl·lules sexuals o gàmetes i els nous individus són diferents dels seus progenitors i entre si.

A. La reproducció humana

Els éssers humans es reproduïxen per mitjà de la reproducció sexual. En aquest tipus de reproducció la informació genètica és aportada per ambdós progenitors mitjançant la fusió de cèl·lules sexuals originades per meïosi, els gàmetes, durant la fecundació. Per tant, la reproducció sexual és font de **variabilitat genètica**.

Els descendents resultants d'aquest procés biològic seran fruit de la combinació de l'ADN dels progenitors i, per tant, seran genèticament diferents d'ells. Aquesta forma de reproducció és la més freqüent als organismes complexos.

La reproducció humana és dona entre dos individus de diferent sexe, home i dona. Utilitza la **fecundació interna** i el seu èxit depèn de l'acció coordinada de les hormones, el sistema nerviós i el sistema reproductiu. Les gònades⁵ femenines són els ovaris, que produeixen òvuls i hormones sexuals femenines i les masculines són els testicles, que produeixen espermatozoides i hormones sexuals masculines.

Podem dividir la reproducció humana en gametogènesi, fecundació, desenvolupament embrionari, gestació i desenvolupament post embrionari.

Gametogènesi

És el procés pel qual s'originen **gàmetes** haploides a partir de cèl·lules germinals⁶ diploides mitjançant la meïosi. Es duu a terme a cadascuna de les **gònades** masculines i femenines.

5. **Gònades:** orgànuls sexuals que produeixen els gàmetes

6. **Cèl·lules germinals:** cèl·lules reproductives que es desenvolupen en els ovaris en les dones i en els testicles en els homes

L'**espermatogènesi** és el procés de formació dels espermatozoides als testicles a partir dels espermatogonis, cèl·lules reproductives masculines de $2n$ cromosomes, mitjançant dues divisions meiótiques. L'**oogènesi**, en canvi, produeix òvuls als ovaris a partir de les oogònies, que són les cèl·lules reproductives femenines de $2n$ cromosomes, també per meiosi.

Com a diferència entre ambdós processos trobem que de cada espermatogoni es formen quatre espermatozoides i, en canvi, de cada oogònia sorgeix un únic òvul. Una altra diferència és la gran mida que aconsegueix l'òvul en comparació a la de l'espermatozoide.

Fecundació

És la sèrie de mecanismes mitjançant els quals s'uneixen els **gàmetes** masculins i femenins per formar un **zigot**. La trobada dels gàmetes es fa sempre en un medi líquid. Els humans presenten **fecundació interna**, és a dir, alliberen els espermatozoides dins l'aparell reproductor femení. Els homes produeixen líquid seminal per tal que l'espermatozoide pugui desplaçar-se fins a l'òvul.

El procés s'inicia amb la **trobada de l'espermatozoide amb l'òvul**, on intervenen substàncies químiques específiques que actuen de receptors dels espermatozoides. Segueix amb l'**activació de l'òvul**, que ve determinada per l'augment de síntesi de proteïnes i l'augment del consum d'oxigen, i finalitza



amb la **penetració de l'espermatozoide en l'òvul**. Posteriorment, la formació de la membrana de fecundació impedeix l'entrada als altres espermatozoides. Les membranes de l'òvul i l'espermatozoide es fusionen i formen el nucli del **zigot diploide**. A continuació, comencen les divisions per mitosi.

Desenvolupament embrionari

És el procés que comprèn les successives divisions cel·lulars d'un **zigot** fins a arribar al part. El tercer dia després de la fecundació l'embrió s'anomena **mòrula**, ja té vuit cèl·lules i ha

descendit tota la trompa; al cinquè dia es forma un buit interior i s'anomena **blàstula**; i al sisè penetra a la mucosa uterina i s'hi instal·la, procés que s'anomena **nidació**. En aquest moment es forma la **placenta**. Al cap de deu setmanes l'embrió té forma humana, mesura tres centímetres i s'anomena **fetus**.

Gestació

Aquest període dura unes **40 setmanes** (9 mesos), moment en què el fetus es desenvolupa formant els seus teixits especialitzats i òrgans. L'embaràs es divideix en tres trimestres, on el primer és el més delicat pel fet que es pot produir un abort involuntari. En començar el tercer trimestre ja es viable un part prematur⁷. La gestació finalitza amb el part, moment en què el fetus surt de l'úter a l'exterior.



Desenvolupament post embrionari

El desenvolupament post embrionari comença en el moment del part o de l'eclosió i acaba quan l'individu ha arribat a la fase adulta o reproductora.

3.4 Els bessons

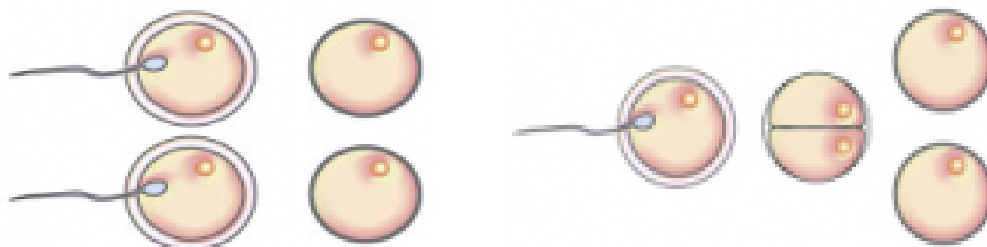
Un bessó és cadascú dels dos o més **individus nascuts en una sola gestació**, anomenada **embaràs múltiple**, en espècies en les quals el part s'associa a un sol individu com és el cas de l'ésser humà i moltes espècies comunes entre el bestiar. Els bessons comparteixen l'úter durant el període d'embaràs. En cas que aquest doni lloc a més de dos individus, els bessons també són coneguts com a trigèmics (tres), quadrigèmics (quatre), quintigèmics (cinc), etc.



7. Prematur: un part prematur és aquell que té lloc abans de les trenta-set setmanes de gestació

Com ja s'ha esmentat anteriorment, el període de gestació d'un embaràs d'un sol individu és de quaranta setmanes. Aquest varia en els embarassos múltiples pel fet que la matriu o úter té una grandària limitada. Així, el període es redueix tres setmanes, situant doncs el part a la **setmana trenta-set**. És comú en aquests parts prematurs que els individus neixin perjudicats i, en moltes ocasions, necessiten tractaments de reforç com l'ús d'incubadores.

Els bessons **homozigòtics** o **univitel·lins**, coneguts com a bessons idèntics, s'originen per la fecundació d'un sol òvul per un sol espermatozoide. Aquest zigot es divideix de tal manera que els dos bessons comparteixen el 100% dels gens idèntics per descendència. En canvi, els bessons **dizigòtics** o **bivitel·lins**, coneguts com a bessons no idèntics, s'originen per la fecundació simultània de dos òvuls per dos espermatozoides i, per tant, són com germans nascuts simultàniament i presenten el 50% dels gens idèntics. Per tal que es pugui donar aquesta situació, s'han d'haver produït dues ovulacions en un mateix cicle menstrual, o bé dos òvuls en un mateix ovari o un en cadascun. Aquest tipus de bessons no han de presentar el mateix sexe, tot i que en dos de cada tres casos coincideix. Per contra, els bessons homozigòtics són estrictament del mateix sexe, ja que presenten el mateix genoma.



Fecundació dizigòtica

Fecundació homozigòtica

A. Altres tipus de bessons

Tot i que els casos de bessons més abundants i coneguts són els univitel·lins i els bivitel·lins, es coneixen altres casos que presenten característiques que els diferencien d'aquests grans grups.

Bessons semi idèntics

En aquest cas l'òvul, de forma errònia, es divideix en dos per mitosi i cada meitat és fecundada per un espermatozoide diferent. D'aquesta manera els bessons comparteixen el 100% de la informació materna i el 50% de la paterna. Els seus genomes estableixen doncs una relació del 75%. Tot i que el mecanisme no està del tot entès, s'accepta actualment aquesta teoria.

Siamesos



Es tracta de bessons homozigòtics, el cos dels quals segueix unit per algun membre en néixer. Això té lloc quan el zigot no arriba a separar-se completament, possiblement pel fet que aquesta separació s'ha iniciat tard. Estadísticament, només 1 de cada 100.000 embarassos dona lloc a bessons siamesos.

Mirror image twins

Són també bessons idèntics però presenten una diferència destacable. Els bessons són literalment el reflex de l'altre: si un és dretè l'altre serà esquerrà, si un presenta una piga a un costat del seu cos, l'altre la presentarà a l'altre sector, etc. Tanmateix, els òrgans d'un d'ells es trobaran al costat oposat. Això succeeix quan el zigot es divideix entre uns nou i dotze dies després de ser fecundat.



Superfecundation

En aquest cas trobem que dos òvuls han estat fecundats per dos homes diferents. Els bessons comparteixen únicament el 25% de l'ADN.



Superfetation

La dona presenta doble ovulació, i els òvuls no són fecundats al mateix temps. Per aquest motiu, els embrions no presenten la mateixa edat.

Parasitictwins

De vegades un dels bessons, a causa de problemes en el seu desenvolupament, acaba causant problemes a l'altre. Actua com a paràsit, i pot arribar a formar part de l'altre. Una *chimera* és una persona que presenta parts o característiques del seu bessó, pel fet que hi va haver una interferència genètica durant el seu desenvolupament.



3.5 Els bessons univitel·lins

Un cop tractats els diferents tipus de bessons, ens centrarem en els bessons univitel·lins. Estudiarem les seves classificacions i, principalment, la seva genètica.

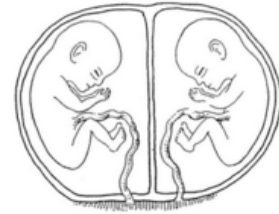
A. Classificació

A l'apartat anterior s'ha fet esment al fet que els bessons idèntics provenen del mateix zigot que es divideix per formar dos embrions diferents. Tenint en compte el moment en què es produeix aquesta divisió, trobem diferents tipus de bessons: poden ser **monoamniòtics** o **diamniòtics** i **monocoriònics** o **dicoriònics**, en funció de si comparteixen o no el sac amniòtic i la placenta.

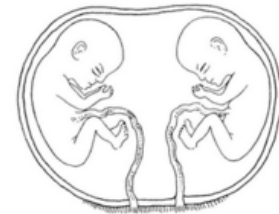
Di/di: es produeix quan el zigot es divideix en els dos primers dies després de la fecundació. No comparteixen placenta ni sac amniòtic. Constitueixen entre el 20 i el 30% dels bessons idèntics.



Homo/di: quan la divisió es produeix després dels dos primers dies els zigots comparteixen la placenta, però no el sac amniòtic. Són el 60-70% dels bessons homozigòtics.



Homo/homo: ocasionalment, els bessons comparteixen també el sac amniòtic. Constitueixen l'1% dels bessons homozigòtics.



B. Semblances i diferències

Els científics han trobat dues possibles teories per justificar les diferències que presenten els bessons idèntics. La primera defensa que les marques epigenètiques s'eliminen aleatòriament a mesura que ens fem grans. La segona, diu que les influències canvien el patró d'aquestes marques.

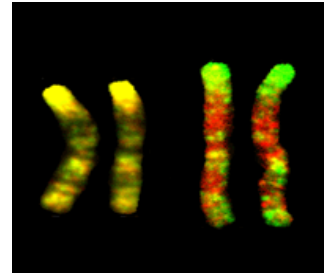
Influència genètica

En néixer els bessons homozigòtics són genèticament idèntics. No obstant això, podem veure que en créixer esdevenen físicament diferents progressivament.

Als gens trobem informació sobre el nostre desenvolupament. Les **marques epigenètiques** activen o inhabiliten gens concrets, sense modificar el nostre codi genètic.

En fertilitzar-se l'òvul, els cromosomes del pare i la mare es combinen per formar un embrió. En els primers dies posteriors a la fertilització apareixen als cromosomes del pare i la mare marques epigenètiques. Algunes d'aquestes, romanen als gens. Després, aquest embrió es divideix en dos. Cada embrió resultant té el mateix genoma i el mateix epigenoma.

Quan les cèl·lules comencen a diferenciar-se i especialitzar-se les marques epigenètiques prenen un paper important, activant o desactivant gens per fer possible aquesta especialització. Llavors, cada tipus de cèl·lula té un perfil epigenètic concret i únic.



Cromosoma 1 en bessons de 3 anys a l'esquerra i el mateix cromosoma amb 50 anys d'edat

Influència del medi ambient

Pel fet que en néixer acostumen a conviure en un mateix entorn, els bessons idèntics tenen un epigenoma molt similar durant els primers anys de vida. A mesura que passen els anys, comencen a aparèixer diferències entre ambdós. Continuen tenint el mateix genoma, però algun factor de l'ambient ha fet que determinats gens es pronunciïn o se silenciïn.

Hi ha diversos **factors ambientals** que influeixen en el desenvolupament dels bessons idèntics. Un dels més notables és la dieta, que en cas de diferir molt entre els dos individus pot portar a diferències en els seus epigenomes. Influeixen també les activitats físiques que es duen a terme, l'exposició a substàncies tòxiques i també l'estrès.



A causa de les diferències pel que fa a l'entorn dels bessons homozigòtics, en ser aquests adults trobem que els patrons epigenètics dels seus gens presenten diferents marques epigenètiques, fent així cada bessó únic.

C. Conseqüències de presentar el mateix genoma

Pel fet de ser genèticament iguals, els bessons idèntics presenten característiques i comportaments que poder diferir respecte als dels individus procedents de parts simples. A continuació, es tractaran diversos temes interessants respecte a la psicologia dels bessons.

Individualitat

Jo sóc "jo" o sóc "nosaltres"?

La Dra. Lynn Perlman, psicòloga especialitzada en bessons i psicoanalista, té una germana bessona idèntica. En el seu article d'ajuda per a la individualitat dels bessons, titulat amb la cita anterior, parla de la dependència i independència d'aquests. Explica que els pares de bessons han de tractar als bessons com a unitat ja que, si no ho fan, poden obstaculitzar el procés d'assolir la identitat individual. El fet que cadascú es desenvolupi com a únic individu no és una amenaça al vincle que s'estableix entre els dos bessons, sinó que permet que creixin i es desenvolupin mantenint una relació saludable. Els pares han de tenir en compte també que costums com vestir als fills sempre igual o confondre els noms poden ser perjudicials per al seu concepte d'identitat.

Comportament

Trobem diferències respecte al comportament quan la parella de bessons és de sexe masculí o femení. Els individus del primer grup acostumen a ser poc competitius i presenten menys rivalitat que els nens d'embaràs simple. Acostumen a ser més tímids, introvertits, dubtosos i menys parladors. Això es tradueix, de vegades, en la poca iniciativa social. Tot i això, els nens bessons tenen molt desenvolupada la capacitat de cooperativitat i coordinació.



Respecte a les nenes bessones, acostumen a establir una relació molt íntima i comparteixen les seves coses amb gran facilitat. En molts casos són nenes amb més autoconfiança i determinació que les nenes no bessones.

Gelosia

Entre els bessons és molt usual que aparegui la gelosia. Els pares, que han de tenir cura dels dos nadons, no poden calcular amb exactitud el temps que passen amb cadascun d'ells i no poden evitar dedicar en alguns moments més estona a un d'ells si és necessari. En aquests

moments de desigualtat, apareixerà la gelosia en el bessó desatès i buscarà mètodes per captar l'atenció dels seus pares, com cridar, plorar o manifestar comportaments agressius. Tot i que això també és present en els germans de diferent sexe i edat, els bessons passen la major part del temps junts i són tractats generalment de la mateixa manera. És per això que pot arribar a afectar molt a un bessó veure com el seu germà està rebent una atenció especial i ell no.

Víncle dels bessons

Tal com explica la Dra. Lynn Perlman a l'article citat anteriorment, alguns bessons confessen sentir que separats són menys que un ésser humà complet, i que junts són un ésser humà inusualment poderós. D'altres descriuen al seu bessó com "l'altre costat de si mateixos" i, fins i tot, alguns afirmen que quan diuen que volen estar amb ells mateixos, en realitat volen dir que volen estar amb el seu bessó.

Es valora la possibilitat que aquest vincle aparegui durant el procés de desenvolupament dels bessons a l'úter. Worcester Gazette va publicar al 1995 un article on explica la història de dues bessones prematures que tres setmanes més tard del naixement continuaven a la incubadora. Una d'elles es trobava en estat crític, amb dificultats respiratòries i problemes cardíacs, i les infermeres no aconseguien estabilitzar-la. Temien per la seva vida i van decidir, amb el consentiment dels pares, posar a les bessones a la mateixa incubadora. La bessona saludable va passar el seu braç al voltant de la seva germana i en fracció de segons, els valors de l'oxigen a la sang de la bessona malalta van ser els millors des del seu naixement.



Separació dels bessons

La separació dels bessons és un tema difícil a tractar tan per a pares com per a professors i especialistes. Hi ha casos de bessons que descriuen un trauma per haver estat separats i d'altres, en canvi, pel cas contrari. Per tant, per tractar la separació dels bessons s'han d'avaluar les situacions individuals i valorar la relació entre els nens. N'hi ha que tenen por a no ser reconeguts mai com a únic individu i això els causa inseguretats. Una solució a aquest inconvenient podria ser la separació en l'àmbit escolar. D'aquesta manera, cadascun tindria les

seves amistats que el reconeixerien com a ell mateix i no pas com a “el bessó”. D'altra banda, una separació radical en àmbits com l'escolar o les d'activitats d'oci pot afeblir la relació existent entre els dos individus, fet que pot causar problemes en el desenvolupament d'aquests.

D. Curiositats i falsos mites

Com ja ha estat plantejat a l'inici del treball, hi ha moltes preguntes i falsos mites sobre els bessons univitel·lins l'explicació dels quals no ha arribat a tothom i n'hi ha d'altres que encara no s'han arribat a descobrir. En aquest apartat es tractaran alguns temes que han generat controvèrsia al llarg de la història i que la investigació a nivell genètic ha aconseguit o encara intenta resoldre.

Empremta dactilar

Tot i compartir la informació genètica gairebé en la seva totalitat, els bessons idèntics no tenen la mateixa empremta dactilar. Això és degut al fet que aquesta no és una característica únicament genètica. L'empremta és un exemple de **fenotip**, és a dir, és determinada per la interacció entre els gens de l'individu i el desenvolupament del fetus a l'úter. Allà el teixit dels nostres dits entra en contacte amb el líquid amniòtic, el mateix fetus i l'úter. Això, juntament amb la nutrició, els nivells hormonals, la pressió de la sang, la posició de la placenta, etc., determina la nostra empremta dactilar. Per tant, tot i que molt semblants, les empremtes de bessons homozigòtics no són **mai idèntiques**.



Empremta dactilar de bessons univitel·lins

Com saber si es tracta de bessons univitel·lins o bivitel·lins

El primer criteri a seguir són la **placenta** i el **sac amniòtic** de bessons univitel·lins i bivitel·lins. Aquests darrers presenten estrictament dues placentes (còrion) i dos sacs amniòtics (amnios), una per a cada embrió. Els homozigòtics, com ja hem tractat, poden presentar diferents combinacions sent així monoamniòtics o diamniòtics i monocoriònics o dicoriònics.

En cas de presentar diferent placenta i diferent sac amniòtic s'utilitzen altres mètodes per determinar de quin tipus de bessons es tracta. Un d'ells és l'**anàlisi de sang**. Els bessons univitel·lins presenten estrictament el mateix grup sanguini, per tant, si s'obtenen resultats diferents es pot afirmar que els bessons són bivitel·lins. Si l'anàlisi no és concloent, l'única solució és realitzar una **prova d'ADN**.



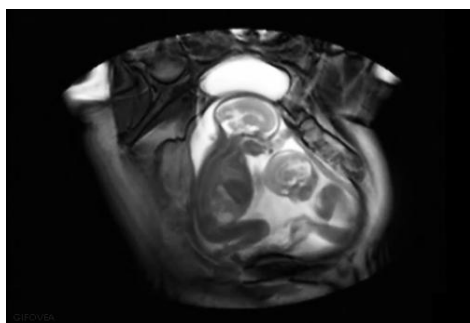
Bessons bivitel·lins



Bessons univitel·lins

Interacció dels bessons al ventre de la mare

L'any 2011 l'equip d'investigació de l'italià Umberto Castiello, de la Universitat de Pàdua, van utilitzar un mètode d'ultrasons per analitzar els moviments dels bessons dins el ventre de la seva mare amb l'objectiu de determinar si la interacció d'aquests és accidental o intencional.



Els investigadors van afirmar que els bessons, en tocar una zona delicada del seu germà bessó com ho és l'ull, ho feien amb tanta suavitat com quan acariciaven el seu propi rostre. "Els nadons vénen al món connectats per interactuar socialment", digué Umberto.

A partir de les 14 setmanes de gestació, aproximadament, els bessons comencen a realitzar moviments dirigits específicament cap al seu bessó i aquestes són efectuats de **forma intencional** i no pas accidental. Els estudis van demostrar que els bessons són molt conscients del seu entorn i de la presència del seu germà compartint amb ell el ventre de la mare.

L'herència de tenir bessons

El bessons idèntics no acostumen a trobar-se repetidament en famílies. Són el resultat de la divisió d'un òvul fecundat, i aquest procés sembla que es produeix **aleatòriament** o, si no és així, els científics i investigadors encara no hi han trobat resposta. Per tant, pel fet de ser bessona, una dona no té més possibilitats de donar a llum bessons que qualsevol altra.

En el cas de bessons bivitel·lins és més fàcil parlar de possibilitats de tenir-ne, ja que aquests es produeixen per una **doble ovulació**, en què ambdós òvuls són fecundats, i aquesta és regulada per hormones. A més, actualment existeixen tractaments que ho permeten, incrementant així les possibilitats de concebre bessons no idèntics. També juga un paper molt important l'edat, ja que en ser superior a 30 anys es produeixen de forma natural més hormones que estimulen l'ovulació.

Qui és el gran?

Una de les preguntes que la majoria dels bessons passen la vida escoltant és "Qui és el gran?". Aquesta, a més, va seguida sovint de grans discussions que defensen punts de vista contraris. Per una banda, hi ha qui creu que el més gran és qui va néixer primer, ja que el part és considerat el punt de referència, i sempre hi ha qui defensa que és menor el que neix primer, pel fet que el segon s'ha format abans.

En aquesta discussió, en el cas dels bessons univitel·lins, ambdues visions són incorrectes des d'un punt de vista genètic pel fet que ambdós provenen del mateix embrió que va ser dividit en dos en un moment donat. Si parlem de bessons bivitel·lins, tampoc és possible determinar quin dels dos es va formar abans, ja que l'ordre de naixement només és qüestió d'on van ser implantats els embrions a l'úter, i depèn de l'atzar.

No obstant això, al codi civil espanyol trobem «La prioritat del naixement, en el cas de parts dobles, dóna al primer nascut els drets que la llei reconegui al primogènit». Per tant, haurem de donar la raó en aquest sentit a aquells qui aposten pel que va néixer primer, i posar fi a l'eterna discussió.

Bessons univitel·lins i homicidis

Ja va dir l'humorista americà Josh Billings "Hi ha dues coses a la vida per a les que mai estem preparats, pels bessons". Aquesta cita pren gran importància i esdevé un problema quan es tracta d'homicidis.

La policia necessita informació i evidències per relacionar a un dels dos bessons amb el crim, com poden ser-ho **tatuatges**, **diferències físiques** notables reconegudes per part d'un testimoni o **empremtes dactilars**, que com ja s'ha fet esment, són diferents entre ells. En cas de no comptar amb aquesta informació, la policia no té res a fer.



Investigadors i científics, però, estan treballant amb **proves d'ADN** amb l'objectiu de poder codificar aquells petits segments en què l'ADN, per algun error o mutació, presenta parells de bases diferents en els dos bessons. És encara una investigació sense grans resultats però s'esperen aconseguir solucions per aquest problema amb què la policia s'enfronta.

Telepatia

Relacionat amb el tema del vincle entre bessons comentat anteriorment trobem el tema de la telepatia. Relatiu a aquest àmbit no hi ha cap evidència científica que ho pugui validar i tampoc hi ha estudis que demostrin que existeix. No se n'ha realitzat cap perquè els casos que s'han donat de telepatia entre bessons semblen donar-se en **moments de crisi**. Tot i no poder saber si són verídics o no, presentem alguns exemples de casos de telepatia entre bessons.



“La Marisol va dur els seus bessons de cinc anys al pediatra. Carlos es queixava de dolor al genoll dret però el pediatra no va trobar cap anomalia en aquest lloc. Va decidir examinar també a en David, el germà bessó idèntic, i va descobrir que el seu genoll estava infectat. Van tractar la infecció fins que va desaparèixer, i amb ella el dolor d’en Carlos.”

“Mentre comprava, un home de Texas es va veure obligat a seure degut a un dolor que li punxava el cor. Més tard va rebre la notícia que el seu bessó estava patint un atac de cor en aquell mateix instant a Nova York.”

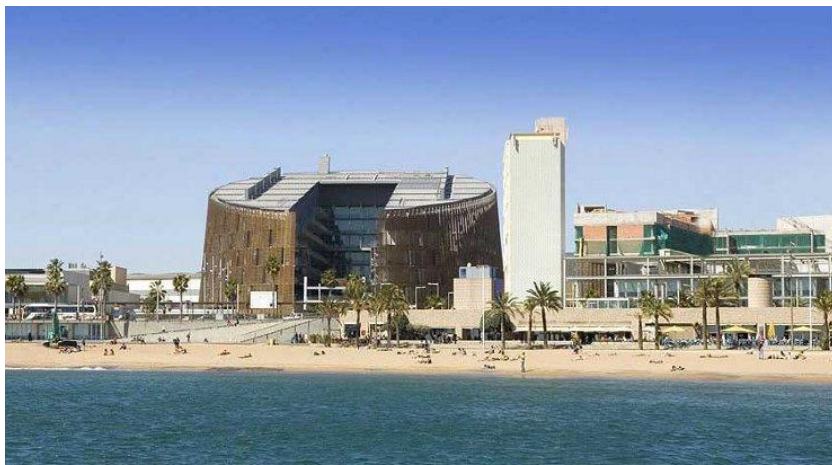
“Un dia la Gemma Houghton, una noia de 15 anys, va sentir una forta sensació que la seva bessona Leanne tenia problemes. Així, va córrer al lavabo on la va trobar submergida a l’aigua patint una crisi epilèptica. La Gemma la va treure de la banyera i la va reanimar. Ella afirmava que va tenir la necessitat sobtada de saber com estava, com si la necessités”.

Fets com els anteriors no tenen cap valor científic, però és un tema que roman al cap de moltes persones. La ciència investiga fins a on arriba el vincle dels bessons realment, per a acceptar així aquests successos o deixar-los únicament com a casualitats.

4. Part experimental

4.1 Què és el CRG?

El **Centre de Regulació Genòmica (CRG)** és un centre de recerca bàsica creat al desembre de l'any 2000 per iniciativa del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació (DURSI) de la Generalitat de Catalunya. Els esforços del CRG es concentren en entendre la complexitat de la vida fent ús de la biologia, la física, les matemàtiques, la química, la medicina i un gran equip amb una formació excel·lent.



Imatge del CRG, situat a Barcelona

Annick Labeeuw, responsable de les activitats de difusió de la ciència al CRG, ens va donar la gran oportunitat d'adherir-nos a un grup de treball per a realitzar la part experimental del nostre treball al centre.

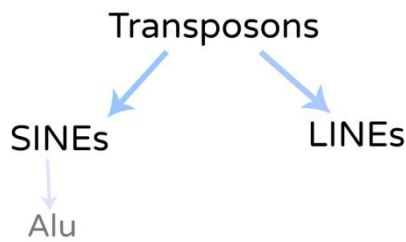


4.2 Què és una seqüència Alu?

Com que estudiar tot l'ADN és massa complex, s'acostumen a analitzar petits fragments o certs gens. Gràcies a aquests s'ha pogut refer a poc a poc la història de la humanitat.

Dins el genoma dels éssers eucariotes trobem una sèrie d'elements que es repeteixen una vegada i una altra. Els *interspersed elements* es troben dins aquest grup, i constitueixen fins a la meitat del genoma total. Són elements transposables capaços de canviar de localització

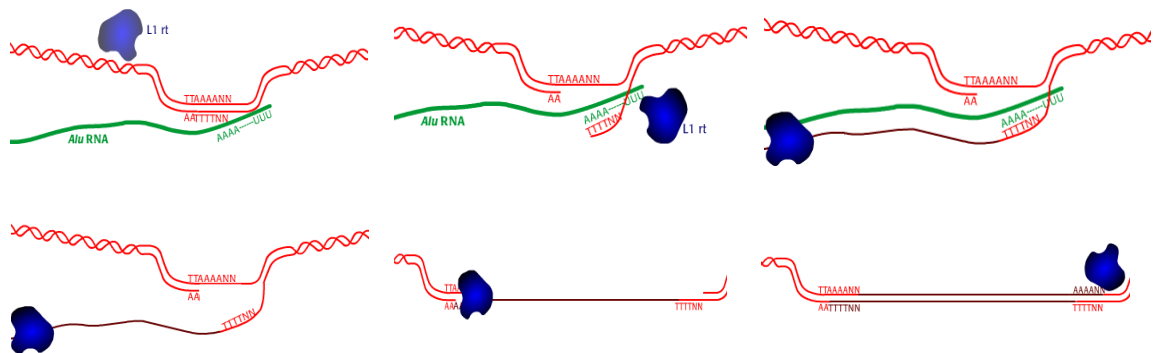
dintre el genoma i que no codifiquen cap proteïna, fent-los així genèticament neutres i sense cap tret físic visible. S'anomenen també **transposons** i tenen una funció desconeguda.



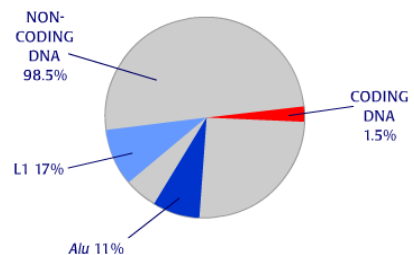
En trobem de dos tipus: els **SINEs** (*short-interspersed repetitive elements*) i els **LINEs** (*long-interspersed repetitive elements*), que es diferencien en el nombre de parells de bases nitrogenades, és a dir, en la seva llargària.

Les **seqüències Alu** són les seqüències mòbils més abundants del genoma humà, i pertanyen al grup del grup del SINEs. Estan constituïdes per un fragment d'ADN, d'uns 300 pb⁸ aproximadament, amb lleugeres variacions. Quan l'Alu es transposa a un altre cromosoma per primer cop, passa a formar part d'aquest per sempre més, ja que al duplicar-se l'ADN d'aquest cromosoma l'Alu també es copia.

El procés d'introducció d'una seqüència Alu ve determinat per l'enzim L1, que prové del LINE L1. Gràcies a aquest enzim, l'ARN de la seqüència Alu es transcriu i s'introdueix al nostre genoma, tal com observem a continuació.



El 1979 es va descobrir que l'ADN humà conté unes 500.000 còpies d'elements *Alu*, formant així un 11% del genoma humà total. Van ser anomenats així per què tenen una seqüència llegida per un enzim de restricció⁹ anomenat *Alu I*.



8. pb: parells de bases nitrogenades

9. Enzim de restricció: enzim que té la funció de tallar l'ADN en cert lloc, perquè així aquest fragment es pugui duplicar i transposar

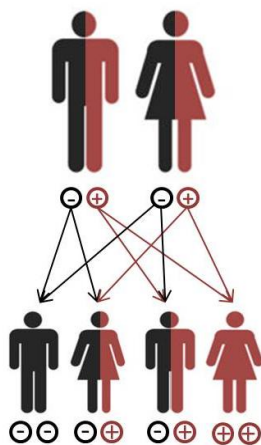
De la mateixa manera que passa a formar part de l'individu en totes les cèl·lules del cos, l'Alu es pot transmetre a la descendència segons l'**herència mendeliana**. Aquesta, descoberta per Gregor Mendel, és una teoria de com les característiques hereditàries es transmeten dels progenitors a la descendència. Mendel amb un seguit d'experiments va arribar a formular les Lleis de Mendel. Segons aquestes lleis, considerades la base de gran part de la genètica, a la descendència es passa un cromosoma dels dos que té el pare i un dels dos de la mare, que es combinen i passen a formar part del nou individu.

Les seqüències Alu són útils a l'hora d'estudiar la genètica de les poblacions humanes. La major part de les insercions Alu són fixes, és a dir, els dos cromosomes homòlegs presenten la inserció al mateix sector. Algunes d'aquestes seqüències, però, han estat incorporades tan recentment al genoma humà que són dimòrfiques per a l'absència o presència d'aquesta. Aquests dimorfismes provoquen diferències en el genotip dels diferents individus.

4.3 El nostre experiment

El nostre experiment examina el **PV92**, una seqüència Alu exclusiva dels humans situada al **cromosoma 16** que pot o no contenir un Alu. El cromosoma 16 té una llargada de 700 parells de bases, per tant, quan se li insereix l'Alu, tenim un fragment de 1000 pb.

El sistema genètic del PV92 és **dimòrfic**, podent presentar o no aquesta inserció a cadascun dels dos cromosomes 16. Tenim, per tant, tres possibles genotips (++,-,-,+).

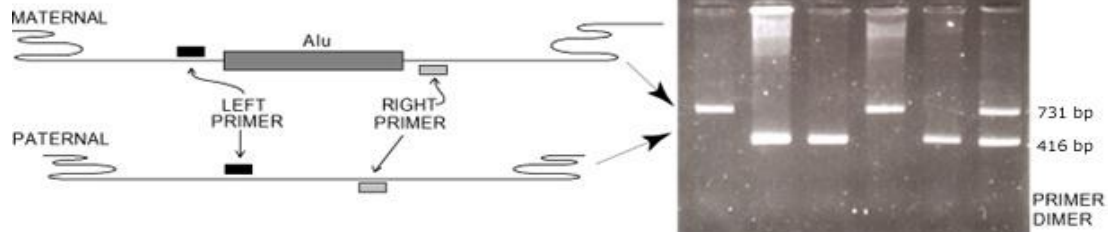


Aquest diagrama mostra un exemple de l'herència del PV92 a la descendència en què mare i el pare són heterozigots. Cada cromosoma 16 està representat amb un signe negatiu, si no té l'Alu, o amb un positiu, si el presenta. Podem observar com aquesta parella té un 25% de possibilitats de tenir un fill que no presenti aquesta seqüència a cap dels dos cromosomes 16, un altre 25% de tenir un descendent que la presenta a ambdós cromosomes, i un 50% de possibilitats de tenir fills heterozigots, amb PV92 a un cromosoma 16 i amb l'absència d'aquest a l'altre.

Aquest experiment consisteix a extreure el nostre ADN mitjançant diferents tècniques fins a arribar a esbrinar quin dels tres és el nostre genotip mitjançant la tècnica de l'electroforesi. La

intenció és demostrar que totes dues hem de presentar el mateix genotip, pel fet que som bessones homozigòtiques. El fet de ser-ho implica que hem de presentar el mateix genotip, però presentar-lo no implica ser-ho. Hem realitzat aquest experiment utilitzant també l'ADN d'altres familiars, per observar diferents resultats.

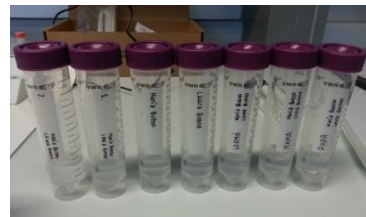
PV92 Locus on Chromosome 16



Per a realitzar l'experiment, s'han dut a terme els següents protocols:

A. MÒDUL I: Extracció de l'ADN

1. Preparació de la dissolució salina: dissoldre 8 paquets de 6 g de sal en 50 mL d'aigua potable i agitar.
2. Distribuir la barreja en tubs de 50 mL (tants com siguin necessaris), posant 10 mL a cada tub.
3. Posar la solució a la boca i "agitar" durant 60 segons. Retornar el líquid al tub.
4. Transferir 1,5 L de la solució a un tub de centrifugar.
5. Centrifugar durant dos minuts a màxima velocitat (han de sedimentar les partícules).



Tubs amb dissolució salina



Centrifugadora

6. Utilitzant la micropipeta, extreure el *supernatant* (part que no ha sedimentat). És molt important no barrejar el *pellet* (part que sedimenta) amb el *supernatant*.
7. Afegir 140 μ L de lysis buffer*



Alguns components del lysis buffer

**Preparació del lysis buffer: afegir 100 μ L de TE buffer al tub de Proteinase K i deixar uns minuts que s'hidrati. Pipetejar perquè es barregi. Transferir a un tub de 15 mL i afegir 4 mL de TE buffer. Agitar el tub per barrejar. Distribuir la barreja en diversos tubs (300 μ L per tub).*

8. Barrejar amb el *vortex* o pipetejant.
9. Tapar el tub i incubar-lo a la *waterbath* a 55°C durant 15 minuts.
10. Agitar o *vortex*.
11. Incubar a 99° durant 15 minuts.
12. Centrifugar 2 minuts a baixa velocitat (6000 rpm).
13. Transferir 80 µL de *supernatant* en un tub de centrifugar i posar-lo en gel.



Vortex



Waterbath

B. MÒDUL II: Amplificació de l'ADN

1. Preparació del *primer mix*: afegir 1mL de *TE buffer* al *primer* (PV92, ADN mitocondrial o D1S80), barrejar i distribuir en tubs de centrifugar (50 µL per tub).
2. Afegir 20 µL de *primer mix*, 5 µL d'ADN i una *EdvoBead* a un tub de centrifugar i barrejar fins que la *EdvoBead* estigui dissolta.
3. Centrifugar.
4. Amb una pipeta traspasar la mostra a un tub de PCR.
5. Programar la PCR:



Primers

A) Per a PV92

Desnaturalització inicial: 94°C durant 4 minuts

Cicle (32 vegades)	Desnaturalització: 94°C durant 30 segons
	Annealing: 61°C durant 30 segons
	Extension: 72°C durant 45 segons

Final extension: 72°C durant 4 minuts

Indefinidament a 4°C (operació nocturna)



Interior PCR

B) Per a D1S80

Desnaturalització inicial: 94°C durant 4 minuts

Cicle (35 vegades)

Desnaturalització: 94°C durant 30 segons

Annealing: 65°C durant 30 segons

Extension: 72°C durant 45 segons

Final extension: 72°C durant 4 minuts

Indefinidament a 4°C (operació nocturna)



Programa PCR

C) Per a mitocondrial

Desnaturalització inicial: 94°C durant 4 minuts

Cicle (25 vegades)

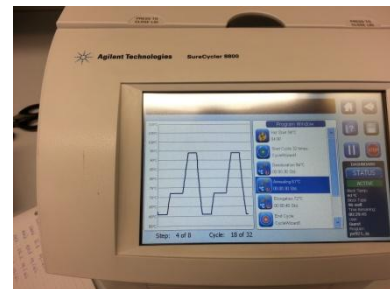
Desnaturalització: 94°C durant 60 segons

Annealing: 65°C durant 60 segons

Extension: 72°C durant 120 segons

Final extension: 72°C durant 4 minuts

Indefinidament a 4°C (operació nocturna)



PCR en funcionament

C. MÒDUL III: Electroforesi

1. Preparació de l'Agarose gel: abocar 10 mL de TAE electrophoresis buffer a un recipient de 500 mL i omplir la resta d'espai d'aigua destil·lada (dissolució TAE 1%). Separar 100 mL a un erlenmeyer, afegir 1,5 g d'agar i escalfar un minut i mig al microones.



Preparació agarose gel

2. Abocar el gel a la plataforma fins a arribar gairebé a cobrir les dents i deixar que es formi a temperatura ambient (o a la nevera).
3. Col·locar el gel a la màquina d'electroforesi.



Màquina electroforesi amb gel

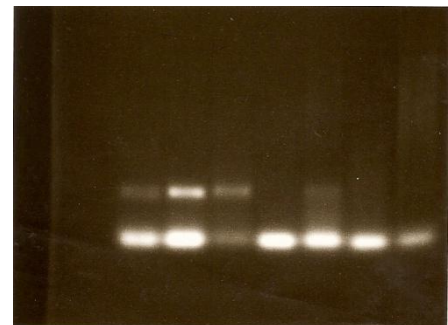
4. Afegir a cada mostra (les obtingudes després de la PCR) 1 μL de *red gel* (producte de tinció) i pipetejar per a barrejar.
5. Introduir a la primera de les ranures del gel 8 μL de *leader* i a les següents els controls (positiu i negatiu) i les diferents mostres d'ADN (aproximadament 22 μL).
6. Tancar la màquina d'electroforesi i connectar-la a 125 V durant aproximadament 40 minuts.
7. Extreure el gel de la màquina i mitjançant llum ultraviolada observar les bandes.
8. Imprimir els resultats.



Màquina utilitzada per visualitzar les bandes

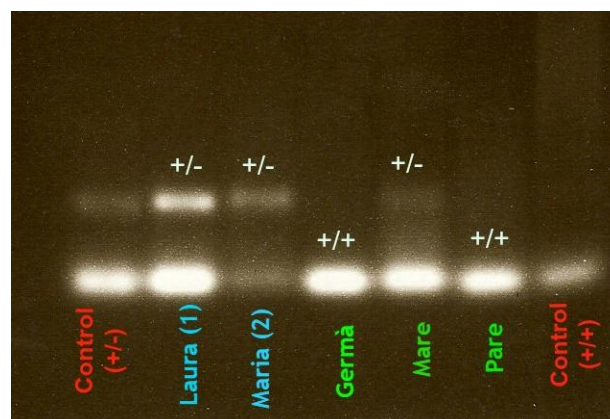
4.4 Anàlisi dels resultats

A la imatge podem veure els resultats després de dur a terme els protocols referents a l'**Alu PV92** indicats a l'apartat anterior. Podem veure primerament una banda que presenta dues marques (+/-), que correspon a un dels controls positius que ja venia donat al kit. A continuació trobem les bandes corresponents a Laura, Maria, germà, pare i mare, en aquest ordre. L'última banda correspon a l'altre control positiu (+/+).



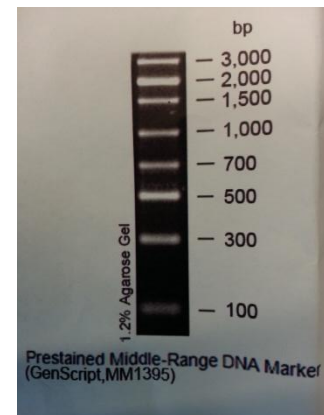
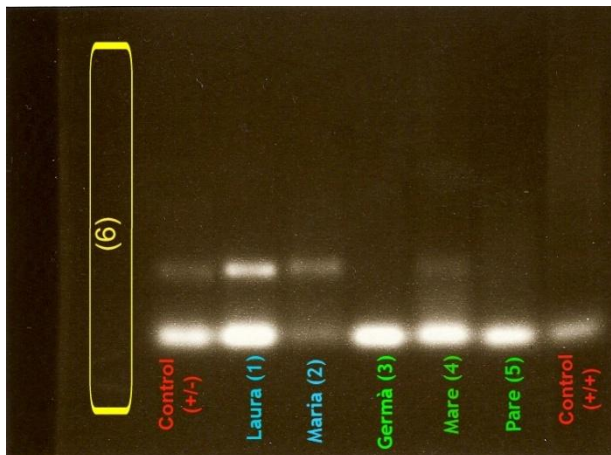
Resultats de l'experiment

A continuació podem veure indicat a qui correspon cada banda:



Podem veure com les bandes 1 i 2 coincideixen en resultat, tal com s'esperava. Les bandes 3,4 i 5, que no eren necessàries a l'experiment, han donat altres resultats.

Cal parlar també dels errors comesos en el procés. Tot i que els resultats obtinguts han estat òptims, hem tingut problemes amb el **marcador**, que és el que indica la longitud de l'ADN. Aquest hauria d'estar col·locat a la posició 6 de la figura que trobem a continuació. També ha faltat introduir un **control negatiu**, que és indispensable en qualsevol experiment i fa vàlids els resultats positius.

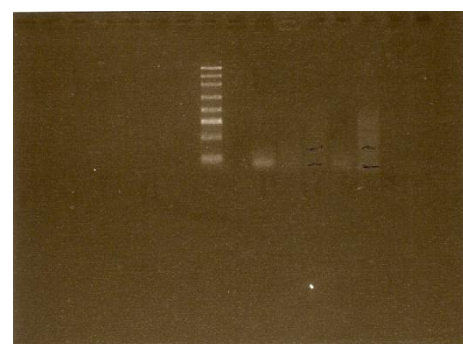


Marcador

4.5 Altres proves

El protocol es va repetir amb altres reactius per a buscar diferents resultats i intentar corregir els errors comesos a l'experiment inicial.

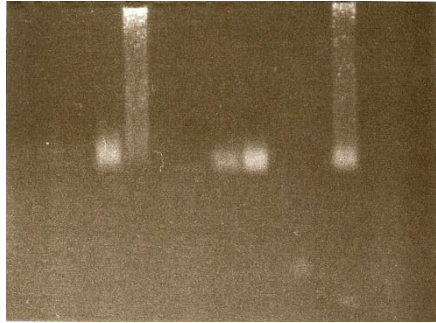
Es va fer un segon experiment, per analitzar l'**ADN mitocondrial**. En aquest es va poder veure el *leader* i el control negatiu però les bandes no es van veure suficientment diferenciades a la imatge obtinguda a causa de problemes amb la viscositat del gel o la concentració d'ADN.



Resultats (ADN mitocondrial)

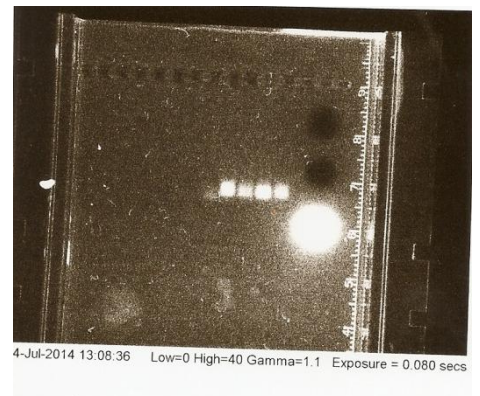
Es va fer una tercera prova utilitzant els *primers* els de la regió **D1S80**, que es va interrompre per un problema amb la PCR que va fer malbé les mostres.

Posteriorment vam realitzar de nou el protocol amb els *primers* de l'ADN mitocondrial i els de la regió D1S80. Els resultats no van ser correctes pel fet que els nucleòtids afegits van ser només de timina. Faltaven per tant, nucleòtids d'adenina, guanina i citosina.



Resultats (regió D1S80)

Per últim es va tornar a realitzar el PV92 per comprovar els resultats, però a causa de la manca d'un reactiu es va utilitzar un altre que va fer que els resultats obtinguts no fossin els desitjats. Per tant, el resultat considerat definitiu és l'inicial i els altres només han estat diverses proves amb nous mètodes i reactius per a veure què obteníem i familiaritzar-nos amb les tècniques i materials del laboratori.



Resultats (PV92)

5. Conclusions

La realització d'aquest treball ha estat una **experiència molt positiva, ja que hem assolit els objectius proposats.**

Treballar juntes ha estat una gran experiència, una oportunitat que ens ha permès millorar la nostra **coordinació i cooperació**. Tot i estar acostumades a conviure, no és gens fàcil treballar amb algú que pot presentar diferents opinions i proposar idees diferents de les teves. Ha estat transcendent fer l'esforç d'acceptar els nostres errors i valorar diverses propostes. Tot i això, ens hem entès molt bé, atès que coneixem com hem d'actuar quan estem en desacord amb una idea per tal de solucionar-ho i tenim la confiança per expressar les nostres opinions de forma clara i entenedora.

Hem après a **organitzar-nos** les hores de treball i la feina i, així, hem obtingut els resultats esperats tot i la **manca de temps** durant els mesos previs a l'entrega del treball. Això ha estat gràcies al fet que és un tema que ens interessa molt i, per tant, hem aconseguit treure el màxim temps possible tot i els exàmens, deures, treballs...

Estem molt agraïdes per la gran oportunitat que ens oferí el CRG obrint-nos les portes als seus laboratoris i donant-nos així la possibilitat de realitzar una part experimental més complexa de la que esperàvem.

Els dies anteriors a la realització de la part pràctica del treball els vam dedicar a investigar sobre el nostre experiment, cercar informació sobre conceptes que calia conèixer, estudiar els protocols... Pel que fa als cinc dies que vam anar als laboratoris, destacar que van ser **difícils i durs** alhora que **entretinguts i molt interessants**.

El primer va ser un dia crític al nostre treball, pel fet que el kit que teníem a la nostra disposició no era el mateix que havíem estudiat. Així, vam haver de tornar a interpretar els protocols, realitzar esquemes i guions de cada mòdul, traduir noves paraules de la llengua anglesa... Tot i aquest **inconvenient** vam fer el possible per animar-nos l'una a l'altra i així continuar endavant amb el nou kit. Al començament no va ser fàcil aprendre els mètodes de treball i entendre els protocols, trobar tot el material necessari i assumir l'autonomia que calia per a la realització de l'experiment, però, finalment, vam **adaptar-nos** a tot això.

El segon dia va ser més positiu, ja que vam poder comprovar mitjançant una màquina especialitzada que havíem realitzat correctament l'extracció del nostre ADN i dels nostres familiars. Tot i que es va espavellar una PCR i vam perdre gran part de les nostres mostres que vam haver de repetir, saber que realment estàvem treballant amb una bona concentració d'ADN ens donà una empenta per arribar, finalment, al dia que podem descriure com el més important i emocionant del nostre treball. Aquest tercer dia vam realitzar l'electroforesi i vam **obtenir els resultats**. Això va permetre que els dos últims dies els poguérem dedicar a la realització d'altres proves, com la de l'ADN mitocondrial o l'estudi de la regió D1S80.

Ha estat un plaer realitzar la part experimental disposant de material d'alta qualitat al nostre servei, comptant amb l'ajuda de l'Annick Labeeuw i envoltades de companys amb qui vam establir una bona relació. A més, l'Annick va organitzar xerrades i vam tenir l'oportunitat d'escoltar a grans investigadors del CRG parlant de temes científics d'actualitat molt interessants, com són les cèl·lules mare, l'epigenètica o l'estudi de les proteïnes del llevat.

La realització de la part experimental **ha aclarit certs dubtes sobre el nostre futur**. En haver passat cinc dies en un centre d'investigació de gran importància a escala mundial, en companyia de grans investigadors d'arreu del món, escoltant en què consistien els seus projectes i endinsant-nos en els seus laboratoris, podem dir amb certesa que l'àmbit de la investigació és un món amb molt futur i és un aspecte imprescindible pel progrés de la ciència i la salut humana. Així, a ambdues ens agradaria **dedicar el nostre futur a la recerca científica**, sigui en l'àmbit la genètica, la medicina o potser un altre.

Realitzar aquest projecte ens ha permès **aprendre com es realitza un treball de recerca**, els apartats dels quals ha de constar i com redactar-lo. Considerem aquesta informació molt útil per pròxims projectes que possiblement haurem de realitzar.

Ha estat molt interessant la recerca d'informació, sobretot la referent a l'apartat que tracta la genètica dels bessons univitel·lins. Gràcies a vídeos, articles, llibres i pàgines web consultades hem aconseguit redactar el punt d'aquest projecte que respon les preguntes que ens han voltat pel cap durant molts anys plantejades a la introducció. Gràcies a això **coneixem més sobre nosaltres mateixes** i podrem ser capaces d'aclarir els dubtes de qui ens preguntí: "Qui és la més gran?", o bé, "Com us assembleu tant?".

6. Bibliografia

Per a realitzar aquest treball de recerca s'ha fet ús dels següents **llibres**:

- Bryan, Elizabeth (1995) *Mellizos, trillizos o más*, Barcelona, Editorial Urano
- Bueno i Torrens, David i Tricas i Giménez, Maria (2001), *Gens i genoma; el programa de la vida*, Barcelona, Editorial Pòrtic
- Gallori, Enzo (2010), *Genética*, Milà, Editorial Susaeta
- Griffithis, Anthony J. F.; Miller, Jeffrey H.; Suzuki, David T.; Lewontin, Richard C.; Gelbart, William M. (2002), *Genética*, Madrid, Editorial Mc Graw Hill
- Henderson, Mark (2010), *50 cosas que hay que saber sobre genética*, Madrid, Editorial Ariel
- Herráez, Ángel (2001), *Biología molecular e ingeniería genética*, Barcelona, Editorial Elsevier
- Klug, William S. i Cummings, Michael R. (1999), *Conceptos de genética*, Madrid, Editorial Prentice Hall
- Pierce, Benjamin A. (2005), *Genética, un enfoque conceptual*, Madrid, Editorial Médica Panamericana, S.A.
- Purroy, Jesús (2001), *La era del genoma*, Barcelona, Editorial Salvat

Han estat utilitzats també els **articles** que trobem a continuació.

- Connor, Steve (1995) "Do your genes make you a criminal?", *The Independent*
- Cruz-Coke, Ricardo (1987) "Nueva clasificación genética de gemelos"
- Gallardo, Susana "Genes que se encienden, genes que se apagan"
- Palmer, Brian "Can identical twins get away with murder?"
- Perlman, Lynn (2004) "¿Yo soy "yo" o soy "nosotros"?", *TWINS Magazine*
- Wade, Nicholas (2005) "Explaining differences in twins", *The New York Times*

Les següents **pàgines web** han estat una font d'informació transcendental a l'hora de redactar el treball.

- www.wikipedia.org
- www.quimicaweb.net/Web-alumnos/GENETICA%20Y%20HERENCIA/Paginas/6.htm
- www.mas-que-ciencia.com/historia-genetica
- www.genetica.uab.cat/base/base3.asp?sitio=genetica_gen&anar=lacien&item=breve
- www.revista.unam.mx/vol.1/num3/sabias1/1953-1997.html
- www.lavanguardia.com/vida/20000409/51262842787/breve-historia-de-la-genetica.html

- www.twinsuk.co.uk/twinstips/4/140/twin-pregnancy--multiple-births/types-of-twins--identical-fraternal--unusual-twinning
- www.twins.org.au/twins-and-twin-families/about-twins/facts-and-figures
- www.nomotc.org/index.php?option=com_content&task=view&id=59&Itemid=54
- www.oocities.org/es/batxillerat_biologia/reprosex.htm
- www.clinicasabortos.com/reproduccion-humana/sec21
- www.aula2005.com/html/cn3eso/17elprocesreproductiu/17elprocesreproductiu.htm
- www.clinicasabortos.mx/reproduccion-humana/sec21
- www.scientificamerican.com/article/identical-twins-genes-are-not-identical
- www.multiples.about.com/od/funfacts/a/differenttwins.htm
- www.multiples.about.com/od/funfacts/a/Identical-Twins-And-Dna.htm
- www.multiples.about.com/od/funfacts/a/identicaltwins.htm
- www.multiples.about.com/od/funfacts/ht/identorfraterna.htm
- www.multiples.about.com/cs/funfacts/a/twinzygosity.htm
- www.epigenetica.org/definiendo-la-epigenetica-y-temas-relacionados
- www.epigenome.eu/es/1,1,0
- www.proactivegenetics.com/faq-twins-genetics.html
- www.todayifoundout.com/index.php/2011/02/identical-twins-dont-have-identical-fingerprints-even-from-birth
- www.genetics.thetech.org/ask/ask68
- www.epigenome.org
- www.babycentre.co.uk

S'ha fet ús, també, de les següents **animacions i vídeos**:

- www.hhmi.org/biointeractive/dna/DNAi_PCR.html
- www.learn.genetics.utah.edu/content/epigenetics/twins
- www.learn.genetics.utah.edu/content/begin/dna/builddna
- www.learn.genetics.utah.edu/content/labs/extraction
- www.learn.genetics.utah.edu/content/labs/gel
- www.dnalc.org/resources/animations/sangerseq.html
- www.dnalc.org/ddnalc/resources/pcr.html
- www.dnalc.org/view/15923-Cycle-sequencing.html
- www.youtube.com/watch?v=oqAbymytdU
- www.youtube.com/watch?v=qakjRVreWzA

Les **fonts d'imatges** han estat les següents:

- www.thomasmore.edu/library/mendel_collection.cfm (pàg. 5)
- www.esmateria.com/2013/04/25/el-secreto-de-la-vida-cumple-60-anos (pàg. 5)
- www.mdsheepgoat.blogspot.com.es/2013/02/do-you-remember-dolly.html (pàg. 6)
- www.godandscience.org/evolution/dual_coding_dna_design.html (pàg. 7)
- www.centpeus.blogspot.com/2006_11_01_archive.html (pàg. 7)
- www.epigenome.org (pàg. 9)
- www.wikipedia.org/wiki/Mitosis (pàg. 10)
- www.starmedia.com/imagenes/2012/03/fecundacion-300x300.jpg (pàg. 15)
- www.weheartit.com/entry/group/19733630 (pàg. 16)
- www.xtec.cat/~mpuigpe1/nens/bessons.htm (pàg.16)
- www.drmime.blogspot.com.es/2014/01/que-son-los-siameses (pàg.18)
- www.health.howstuffworks.com/human-body/parts/reversal-of-organ.htm (pàg. 18)
- www.news.asiantown.net/r/13120/turkish-woman-gives-birth-to-twins-of-different-dads (pàg.18)
- www.timenolonger.wordpress.com/tag/human-chimerism (pàg.19)
- www.diffen.com/difference/Fraternal_Twins_vs_Identical_Twins (pàg. 20)
- www.nytimes.com/2005/07/05/health/05gene.html?_r=0 (pàg. 21)
- www.multiples.about.com/od/funfacts/a/differenttwins.htm (pàg. 21)
- www.beauty-and-the-bath.com/twin-boys-hairstyles.html (pàg. 22)
- www.tracizeller.com/blog/2012/tuesday-twinsday-in-the-garden-2 (pàg. 22)
- www.hospicemadreteresa.org.ar/esp/notas/el-abrazo-salvador (pàg. 23)
- www.littlewhitelion.com/11-really-cool-facts-twins (pàg. 24)
- www.modernpsicology.blogspot.com.es/2014/02/gemelos.html (pàg. 25)
- www.somosmultiples.es/blog/el-rincon-de-coks-feenstra/los-gemelos-suelen-tener-caracter-parecido (pàg. 25)
- www.huffingtonpost.com/2014/03/24/twin-facts_n_4959012.html (pàg. 25)
- www.slate.com/articles/news_and_politics/explainer/2012/08/true_crime_with_twins_can_identical_twins_get_away_with_murder_.html (pàg. 27)
- www.microoci.com/la-telepatia-ja-es-real-possible/ (pàg. 27)
- www.complex.upf.es/~josep/research.html (pàg. 29)
- www.crg.eu (pàg. 29)
- www.geneticorigins.org/pv92/aluframeset.htm (pàg. 32)