

Treball de Recerca

LES PLANÀRIES D'AIGUA DOLÇA: UN POTENCIAL REGENERADOR ÚNIC

Com actuen les cèl·lules mare de les planàries en la seva regeneració?



Rebeca Morán García

2n de Batxillerat 201

Tutora: Maite

García INS Puig

Castellar

26 de gener

*“ No hi ha ensenyament sense investigació
ni investigació sense ensenyament ”*

Paulo Freire

RESUMEN

La razón por la que hago este trabajo de investigación es la actual importancia del avance en el tratamiento de enfermedades obtenido gracias al potencial de las células madres y a organismos modelos en biología para el estudio de estas, como por ejemplo las planarias. Por este motivo, el objetivo de este estudio es investigar cómo actúan las células madre de las planarias en su regeneración y si la luz ultravioleta puede interferir de alguna manera en ella.

El trabajo está dividido en dos partes: una teórica y una práctica. En primer lugar, se detalla la información esencial sobre las células madre, con un marco teórico que contempla que son, los diferentes tipos que hay, las ventajas y desventajas de su uso y las posibles aplicaciones de ellas en la medicina. A continuación, hablo sobre las planarias de agua dulce y explico cuáles son las principales características que las definen, los tipos que existen y la importancia de sus células madre en la investigación.

La parte práctica del proyecto consiste en estudiar y analizar todo lo que he expuesto en la parte teórica. Para ello he conseguido un grupo de planarias al que durante 5 meses he sometido a cortes y observaciones para estudiar su regeneración y ver si esta se puede ver influida por factores como la luz ultravioleta.

Los resultados obtenidos al final muestran que las planarias se han regenerado con éxito varias veces cuando no estaban expuestas a luz ultravioleta, pero que por el contrario, cuando sí lo estaban han dejado de regenerarse hasta que se han muerto.

Todo esto nos hace llegar a la conclusión que las planarias tienen la capacidad de usar células madre totipotentes para regenerarse a sí mismas, pero cuando estas células son afectadas por la luz ultravioleta dejan de cumplir su función.

ABSTRACT

The motive for research is the current importance of the advance in the treatment of diseases obtained thanks to the potential of stem cells. These treatments are studied with model organisms in biology as planarians. For this reason, the purpose of this study is to investigate how planarian stem cells act in their regeneration and if ultraviolet light can interfere in some way.

The work is split into two parts: a theoretical part and a practical part. First of all, I have detailed the essential information about stem cells. Some of the items that we found here are what stem cells are, the different types available, the advantages and disadvantages of their use, and their possible applications in medicine. Below, I talk about planarians and explain the main features that define them, the different types that exist, and the importance of their stem cells in research.

The practical part of the project studied and analyzed everything I have explained in the theoretical part. For doing this, I have obtained a group of planarians and studied them for five months. I have been subjecting them to cuts and observations to see their regeneration and prove if this regeneration can be affected by factors such as ultraviolet light.

The final results show that the planaria successfully regenerated several times. This fact occurred when they were not affected by ultraviolet light, but on the contrary, when they were affected by ultraviolet light, they stopped regenerating until they died.

The conclusion is that planarians can use totipotent stem cells to regenerate themselves. Nevertheless, if these cells have been seeped by ultraviolet light, they cease to do their function.

ÍNDEX

0. Introducció	1
I. PART TEÒRICA	
1. Cèl·lules mare	3
2. Cèl·lules mare i desenvolupament embrionari	4
2.1. Inici del desenvolupament embrionari	4
2.1.1. Segmentació	5
2.1.2. Gastrulació	6
2.1.3. Diferenciació cel·lular	7
2.2. Final del desenvolupament embrionari	8
3. Classificació de les cèl·lules mare	8
3.1. Segons el potencial	9
3.2. Segons l'origen	11
3.2.1. Cèl·lules mare embrionàries	12
3.2.2. Cèl·lules mare adultes	13
3.2.3. Cèl·lules mare de pluripotència induïda (iPS)	14
4. Importància de les cèl·lules mare	16
4.1. Avantatges i desavantatges de les cèl·lules mare	17
4.2. Aplicacions	18
5. Planàries d'aigua dolça	19
6. Característiques de les planàries	20
6.1. Regeneració cel·lular de les planàries	20
7. Classificació i tipus de planàries	21
7.1. Espècies presents a Catalunya i la seva localització	22
8. Importància de la investigació amb planàries	26
II. PART PRÀCTICA	
9. Punt de partida i hipòtesis	27
9.1. Resum i idees clau de l'experiència	28
9.2. Llum ultraviolada i planàries	29
9.3. Materials	30
10. Experiència	31
10.1. Experiència 1	32
10.1.1. Resultats i conclusions experiència 1	34
10.2. Experiència 2	36
10.2.1. Part 1	37
10.2.2. Part 2	41
10.2.3. Part 3	44
10.2.4. Part 4	48
11. Conclusions	55
12. Agraïments	56
13. Bibliografia	57

0. INTRODUCCIÓ

Des de ben petita m'hi ha interessat tot el que tenia a veure amb l'àmbit de la medicina i és per això que tenia molt clar que a l'hora de decidir el tema del treball de recerca havia d'escollir algun que m'interessés i estigués relacionat amb aquesta ciència. A part del meu interès, també he volgut que el meu treball anés entorn aquesta rama perquè és el que m'agradaria estudiar en un futur i penso que això m'ajudarà a tenir-ho més clar.

Aquesta decisió em va ser bastant difícil perquè hi havia molts temes que m'agradaven, però que no em plantejaven cap problema a investigar ni cap part pràctica profitosa. És per això, que un dia veient les notícies vaig sentir que parlaven d'un avenç que havien fet uns investigadors envers l'aplicació de cèl·lules mare per regenerar teixits. Com em vaig sentir tan interessada en la qüestió vaig començar a buscar informació a internet i vaig acabar en un article que parlava sobre les increïbles propietats de les cèl·lules mare de les planàries. Al no haver sentit mai parlar d'aquests éssers vius vaig fer una recerca més profunda sobre elles i em vaig quedar tan impressionada sobre el que vaig trobar que en aquell mateix moment vaig decidir que aquesta seria la idea central del treball.

En un primer moment, la meva idea era incorporar al treball només la informació de les planàries, tanmateix a mesura que indagava més sobre el tema vaig veure necessari incorporar també punts sobre les cèl·lules mare que servissin per entendre-ho tot a la perfecció. Per aquest motiu la part teòrica del treball està dividida en dos grans blocs: un relacionat amb les cèl·lules mare i l'altre relacionat amb les planàries.

En referència a la part pràctica, vull mencionar que en un principi vaig descobrir uns laboratoris a Barcelona que treballen en la investigació de les planàries envers el seu mecanisme molecular i vaig pensar que seria una bona idea per construir la pràctica enviar-los un correu per veure si d'alguna manera hi podia anar per fer alguna visita o entrevista. Com que no vaig rebre resposta, la meva tutora i jo vam

decidir que la millor part pràctica que podia fer era comprovar per mi mateixa el procés de regeneració de les planàries.

Una vegada establert això el que he de fer és elaborar quin és el problema, hipòtesis i objectius que dispoço comprovar amb aquest treball. Amb relació als propòsits tenim quatre que són veure si l'entorn en què les puc mantenir és adient per la seva regeneració, analitzar el comportament de les planàries de manera general i prendre notes de les seves característiques físiques i estructurals i observar el procés i les possibles diferències de regeneració cel·lular quan estan sotmeses a llum ultraviolada i quan no.

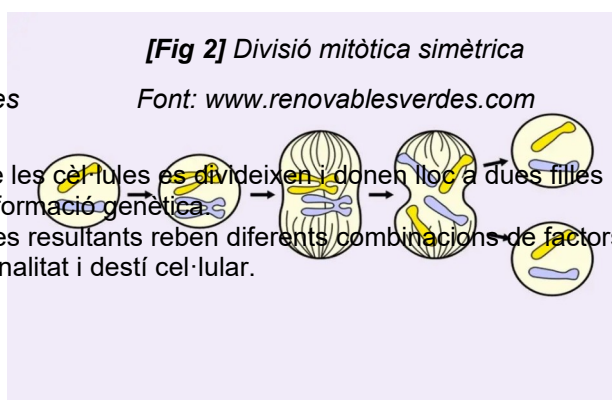
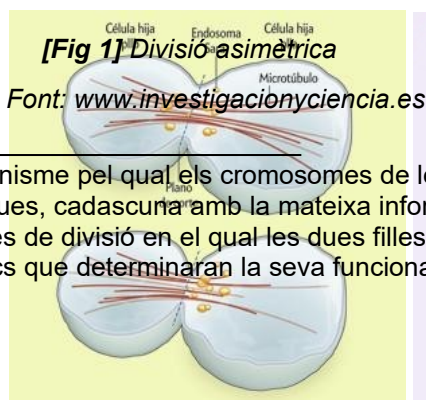
Per tant, la hipòtesi elaborada és la següent: *Potser la llum ultraviolada afecta a les cèl·lules mare en la regeneració i no permet que aquesta es doni a terme adequadament i condueix a la mort.*

I. PART TEÒRICA

1. CÈL·LULES MARE

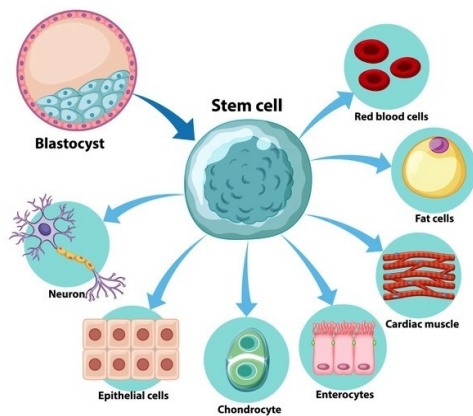
Les cèl·lules mare, també conegudes com a cèl·lules troncales per la traducció derivada de l'anglès, constitueixen un dels diferents tipus de cèl·lules que podem trobar en tots els organismes pluricel·lulars. Des de plantes fins a humans, aquestes cèl·lules presenten la característica primordial d'indiferenciació, fet que permet el desenvolupament dels organismes complets tal com els coneixem. En altres paraules, podem dir que són cèl·lules no diferenciades, immadures i autorrenovables que conserven l'habilitat de diferenciar-se en altres tipus cel·lulars.

Conegudes principalment com a *stem cells* per la comunitat científica, les cèl·lules mare poden donar lloc a les anomenades cèl·lules filles si es presenten les condicions òptimes i els estímuls adequats per fer-ho. Aquesta capacitat es produeix gràcies a les divisions mitòtiques¹, que permeten la formació de dues cèl·lules idèntiques, o no, procedents de la divisió d'una cèl·lula mare. Si les dues cèl·lules resultants són idèntiques i continuen tenint les mateixes propietats que la mare, tenim una divisió simètrica. Pel contrari, es pot produir una divisió asimètrica² en la qual una de les cèl·lules es converteix en una nova cèl·lula mare i l'altre obté la capacitat de diferenciació.



¹ Mecanisme pel qual els cromosomes de les cèl·lules es divideixen i donen lloc a dues filles idèntiques, cadascuna amb la mateixa informació genètica.

² Procés de divisió en el qual les dues filles resultants reben diferents combinacions de factors genètics que determinaran la seva funcionalitat i destí cel·lular.



[Fig 3] Potencial de diferenciació

Font: www.freepik.es

Les cèl·lules diferenciades obtingudes en el procés de divisió asimètric passen a formar part d'un altre tipus cel·lular més específic amb funcions encara més específiques. D'aquesta manera una cèl·lula mare neuronal del cervell pot fer cèl·lules diferenciades del cervell (neurones) que tenen funcions específiques com la transmissió de senyals entre organismes cel·lulars.

2. CÈL·LULES MARE I DESENVOLUPAMENT EMBRIONARI

2.1. Inici del desenvolupament embrionari

Tots els éssers humans tenim en comú el nostre origen com a producte d'una única cèl·lula. Aquesta cèl·lula, anomenada zigot, és el que es coneix com la cèl·lula mare per excel·lència, ja que pot generar totes les cèl·lules que donaran lloc a l'organisme adult. No obstant això, la formació del zigot no és més que el començament de la transformació necessària per passar d'aquest a embrió i posteriorment a organisme adult.

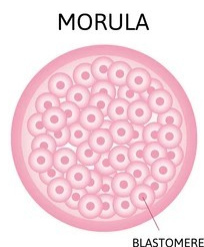
Per completar aquest procés especialitzat i complex es requereixen tres etapes anomenades segmentació, gastrulació i diferenciació cel·lular.

En cadascuna d'aquestes etapes del desenvolupament embrionari³ es produeixen un seguit de canvis i diferenciacions cel·lulars que es donen a conseqüència del potencial dels diferents tipus de cèl·lules mare que existeixen i que més endavant explicaré en profunditat.

³ Procés generatiu que condueix progressivament a la formació d'un organisme pluricel·lular.

2.1.1. Segmentació

La primera de les etapes del procés de desenvolupament embrionari és la segmentació i aquesta comença quan la cèl·lula resultant de la unió dels gàmetes, també coneguda com a zigot, comença a fer divisions mitòtiques successivament i amb una velocitat molt alta, donant lloc als blastòmers⁴. Mentre les divisions continuen obtenim 32 blastòmers de cèl·lules completament idèntiques genèticament que passem a anomenar mòrula⁵. Aquestes cèl·lules són equivalents entre elles, estan indiferenciades i s'anomenen cèl·lules mare totipotents.

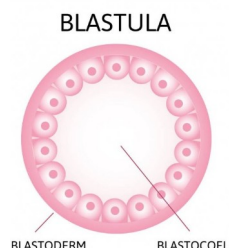


[Fig 4] Representació gràfica mòrula
òptic Font: www.shutterstock.com



[Fig 5] Mòrula en microscopi
Font: www.es.paperblog.com

El final de la segmentació be donat per la formació de la blàstula⁶ o blastòcit, on les cèl·lules es disposen a la part superficial i formen una pilota de moltes cèl·lules. A mesura que la segmentació continua, a l'interior es forma una cavitat plena de líquid que anomenem blastocel.



[Fig 6] Representació gràfica blàstula
òptic Font: www.sp.depositphotos.com



[Fig 7] Mòrula en microscopi
Font: www.britannica.com

⁴ Cèl·lula formada durant la divisió de l'ou fecundat.

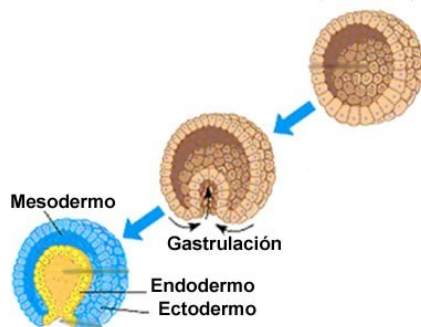
⁵ Massa esfèrica amb aspecte de mora que resulta de la segmentació de l'ou fecundat.

⁶ Massa esfèrica en que les cèl·lules estan disposades amb una cavitat central.

Les cèl·lules que formen la blàstula estan distribuïdes en tres grups diferents depenent de la posició relativa en la qual es troben i cadascuna d'elles té la capacitat d'originar estructures diferents. Les de la perifèria són capaces d'originar estructures com el cordó umbilical i la placenta, les de l'interior de la massa continuen amb el procés de diferenciació cel·lular i són les que originaran l'embrió. Tanmateix, les que es troben en la massa interna es coneixen com a cèl·lules mare pluripotents.

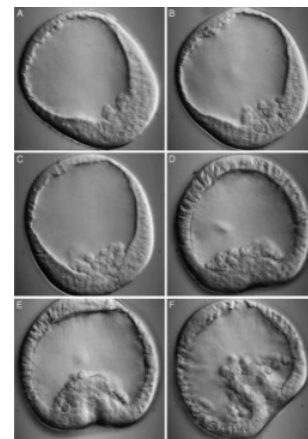
2.1.2. Gastrulació

En aquesta segona etapa les cèl·lules continuen dividint-se amb una velocitat inferior que en la primera de les etapes fins que, arriba un determinat moment en què es divideixen a un ritme diferent i donen com a resultat una cavitat situada cap a l'interior de la blàstula. D'aquesta manera, el que es forma són tres capes diferenciades que formen la següent estructura del procés, la gàstrula. El nom de les tres capes que es formen, de fora cap a dins, és ectoderma⁷, mesoderma⁸ i endoderma⁹.



[Fig 8] Procés de gastrulació

Font: www.culturacientifica.com



[Fig 9] Formació de la gàstrula al microscopi

Font: www.ib.bioninja.com

Al final de l'etapa i una vegada les tres capes estan formades, les cèl·lules mare pluripotents perden la capacitat de diferenciar-se perquè les seves funcions específiques ja han estat distribuïdes.

⁷ Capa externa de la gàstrula de l'embrió.

⁸ Capa intermitja entre l'ectoderma i l'endoderma.

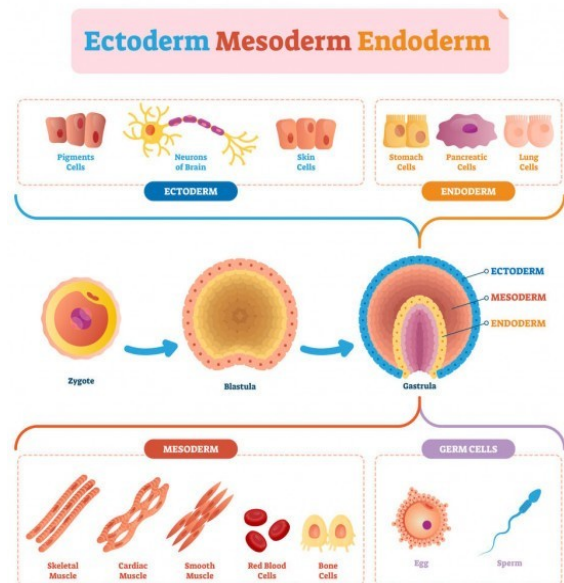
⁹ Capa interna de la gàstrula de l'embrió.

2.1.3. Diferenciació cel·lular

La tercera de les etapes és la diferenciació cel·lular, en la que les cèl·lules adquireixen una disposició que permetrà la formació de teixits i òrgans determinats.

Cadascuna de les tres capes que formen part de la gastrulació originaran elements del cos humà diferents. De tal manera,

l'ectoderma originarà, entre d'altres, l'epidermis de la pell, l'epiteli, el revestiment de la boca i el recte, els receptors dels sentits de l'epidermis, la còrnia i el sistema nerviós. La capa intermèdia, el mesoderma, formarà teixits i òrgans interns com l'epiteli, el revestiment entre el tub digestiu i el respiratori, el fetge, el pàncrees, la uretra, i la bufeta. Per últim, l'ectoderma donarà lloc al revestiment de pulmons, el sistema esquelètic, el muscular, el circulatori, l'excretor i el reproductor.

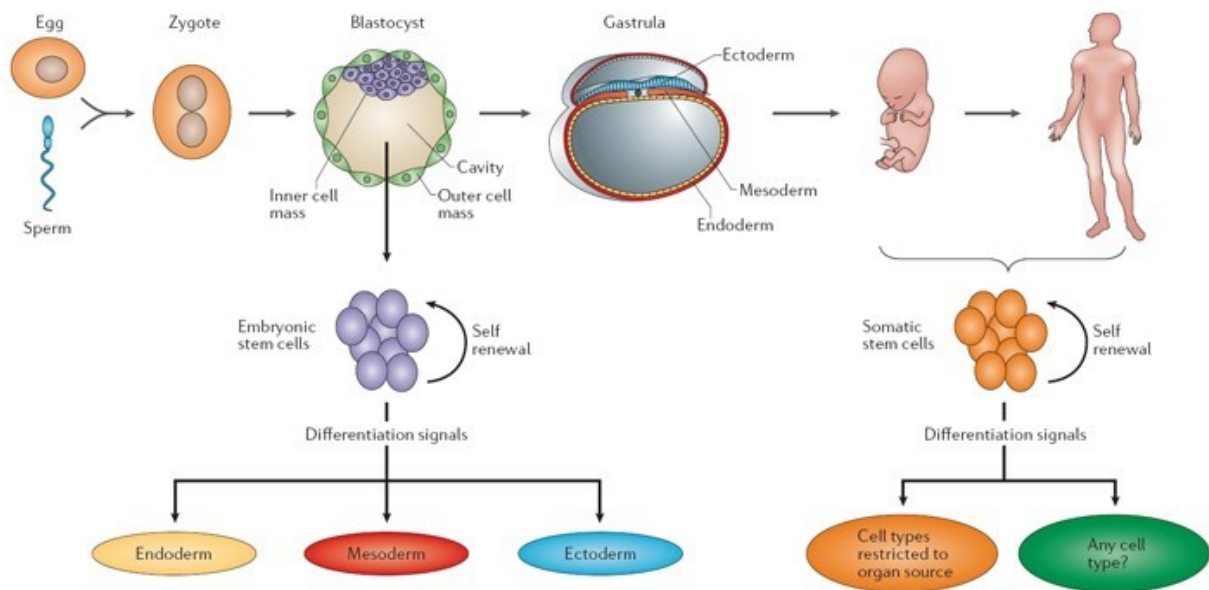


[Fig 10] Esquema de les funcions de les 3 capes de la gàstrula

Font: www.sp.depositphotos.com

2.2. Final del desenvolupament embrionari

Quan les tres etapes han finalitzat donem per acabat el desenvolupament embrionari i comença el desenvolupament postembrionari. Aquest implica el creixement de fetus a nounat i seguidament a adult. Les cèl·lules que trobem en aquest procés de maduració són cèl·lules mare multipotents i cèl·lules mare unipotents, que passaré a explicar tot seguit.



[Fig 11] Desenvolupament embrionari i tipus de cèl·lules mare implicades

Font: www.biosummary.com

3. CLASSIFICACIÓ DE LES CÈL·LULES MARE

Com ja he esmentat anteriorment, les cèl·lules mare tenen la capacitat de formar molts tipus de cèl·lules diferents. Malgrat això, aquest potencial no sempre està al nostre abast, procedeix del mateix lloc ni es troba en totes les etapes de la vida, ja que només algunes cèl·lules posseeixen l'habilitat de formar un individu complet mentre que d'altres únicament en poden formar cèl·lules especialitzades.

És per això que aquestes unitats de vida tan especials no poden estar incloses en el mateix grup i, per tant, se n'ha de fer una classificació. Aquesta no és gens extensa i consta d'una separació principal depenent, d'una banda, de l'origen i de l'altre, de la potencialitat, és a dir, de la capacitat de diferenciació que tenen.

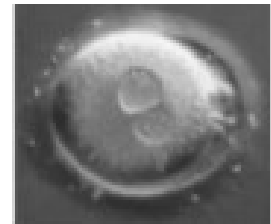
Cadascun dels grups en què queda dividida la classificació presenta diferents tipus dins d'ella. En el cas de la potencialitat, trobem concretament cinc tipus diferents de cèl·lules mare mentre que en el grup de l'origen en trobem tres tipus.

3.1. Segons el potencial

Aquesta classificació bé donada per la capacitat de les cèl·lules per transformar-se en els diferents tipus de cèl·lules o teixits que formen el nostre cos. Els cinc tipus que la formen són: cèl·lules mare totipotents, cèl·lules mare pluripotents, cèl·lules mare multipotents, cèl·lules mare oligopotents i cèl·lules mare unipotents.

Cèl·lules mare totipotents. També anomenades omnipotents, són conegudes com les cèl·lules mare més poderoses que existeixen perquè tenen el potencial necessari per diferenciar-se en qualsevol tipus cel·lular. Això provoca que tinguin la capacitat de generar un individu viu completament funcional i aquest fet fa que aquesta sigui la característica primordial i distintiva d'aquestes cèl·lules respecte de les altres que existeixen.

L'exemple més conegut de cèl·lula mare totipotent és el zigot, originat per la unió d'un espermatozoide i un òvul. Aquest tipus de cèl·lules només es poden aconseguir fins quatre dies després de la fecundació, ja que en passar el període de temps determinat les cèl·lules comencen a especialitzar-se en cèl·lules mare multipotents i perden les seves propietats.



[Fig 12] Zigot

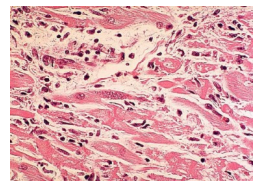
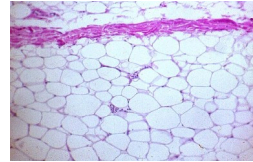
Font: www.ib.bioninja.com

Cèl·lules mare pluripotents. La característica principal d'aquest tipus de cèl·lula és que poden esdevenir qualsevol línia cel·lular excepte totipotents. Per tant, poden autorenovar-se i diferenciar-se en qualsevol de les tres capes que formen la gàstrula però no originar un organisme complet.

Hi ha diversos tipus de cèl·lules mare pluripotents, però les dues més conegudes són les cèl·lules mare embrionàries o ESC (*embryonic stem cells*) i les cèl·lules mare pluripotents induïdes o IPS (*induced Pluripotent Stem*). La principal diferència entre elles és l'origen, ja que unes es produeixen de manera natural a l'organisme i les altres, tal com deixa veure el nom; són creades per l'home.

Cèl·lules mare multipotents. Es presenten en una posició intermèdia perquè poden autorenovar-se i diferenciar-se en un rang específic. Això vol dir que el seu potencial els permet generar una línia cel·lular concreta que ha de ser propera entre elles si parlem en termes de desenvolupament.

Un exemple són les cèl·lules mare mesènquimàtiques¹⁰, que es classifiquen com cèl·lules mare multipotents perquè tenen la capacitat de generar cèl·lules que són bastant diverses en les seves característiques. Algunes de les cèl·lules en que són capaces de diferenciar-se són els miòcits¹¹, que formen la fibra muscular o els adipòcits¹², que són cèl·lules grasses.



Un altre exemple d'aquestes cèl·lules són les cèl·lules mare multipotents hematopoètiques, que poden originar els diferents tipus de cèl·lules sanguínies.

[Fig 13/14] Miòcits i adipòcits

Font: www.pixnio.com

Cèl·lules mare oligopotents. Aquest grup de cèl·lules és molt semblant a les anteriors però, a diferència d'elles, aquestes tenen una capacitat d'autorenovació i diferenciació més restringida. Per tant, només tenen el potencial per generar alguns tipus concrets de cèl·lules estretament relacionades entre elles.

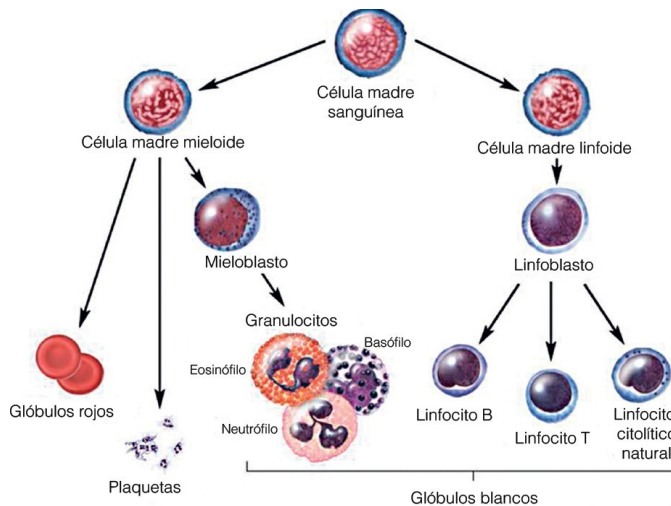
Seguint amb les cèl·lules hematopoètiques o HSC tenim com a exemple d'oligopotents les cèl·lules mare limfoides i mieloides.

Les cèl·lules limfoides poden generar limfòcits-T, limfòcits-B i cèl·lules de destrucció natural (NK), però no poden diferenciar-se en cèl·lules que pertanyen a un altre llinatge sanguini com per exemple una plaqueta. Així mateix, les cèl·lules mieloides tenen la capacitat de convertir-se en glòbuls vermells, plaquetes, eritròcits, neutròfils, eosinòfils i basòfils, però no podrien diferenciar-se en un limfòcit-B.

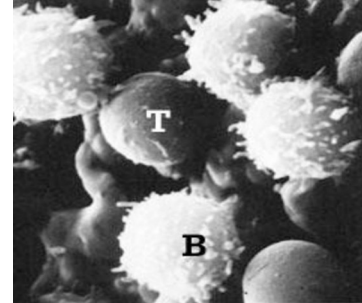
¹⁰ Cèl·lules mare multipotents que es troben en la medul·la òssia.

¹¹ Cèl·lula cilíndrica i amb capacitat contràctil de la qual es compon el múscul esquelètic.

¹² Cèl·lules que formen el teixit adipós.



[Fig 15] Cèl·lules hematopoètiques mieloides i limfoides
microscopi Font: www.aeal.es



[Fig 16] Vista limfòcits-T/B
Font: www.researchgate.net

Cèl·lules mare unipotents. Són les cèl·lules mare més simples i limitades perquè contenen el potencial més baix de tots. Tal com el seu propi nom deixa veure, tenen la capacitat d'originar un únic tipus cel·lular, però encara conserven la capacitat d'autorenovar-se.

Les cèl·lules mare musculars pertanyen a aquest grup perquè només poden donar lloc a un tipus de cèl·lula. Això les fa unidireccionals en la seva capacitat de diferenciació.

3.2. Segons l'origen

Aquesta classificació ve donada pel lloc on trobem els diferents tipus de cèl·lules mare i la formen les cèl·lules mare embrionàries (CME) o *embryonic stem cells*, les cèl·lules mare adultes (CMA) o *adult stem cells* i les cèl·lules mare de pluripotència induïda (iPS).

Les CME i les CMA tenen en comú el seu origen natural mentre que les iPS són d'origen artificial perquè són induïdes al laboratori. A més a més, cadascun d'aquests tres tipus de cèl·lules presenta una potencialitat única que la diferencia de les altres i la fa característica.

3.2.1. Cèl·lules mare embrionàries

Són cèl·lules indiferenciades d'origen natural que provenen d'embrions que es troben entre el cinquè o sisè dia de desenvolupament. S'obtenen del blastòcit, una massa esfèrica d'entre 150 i 200 cèl·lules. Aquesta estructura es troba en una fase de desenvolupament previ a la implantació de l'embrió a l'úter matern, en un procés de preimplantació. Tanmateix, el blastòcit presenta tres posicions relatives, però les cèl·lules mare embrionàries només s'adquireixen de la massa cel·lular interna. Des de 1998, gràcies a la investigació dirigida per J.A. Thomson els científics han après a extreure aquestes cèl·lules mare i cultivar-les al laboratori.

Amb una alta capacitat de clonació i renovació, són l'exemple més clar de cèl·lules pluripotents. En condicions normals, tenen el potencial per diferenciar-se en els més de 200 tipus cel·lulars que donen lloc a tots els teixits i òrgans del cos excepte el cordó umbilical i la placenta. A banda de la capacitat multilineal¹³, les cèl·lules mare embrionàries presenten l'habilitat de congelar-se i descongelar-se. Aquesta propietat permet que durant anys de cultiu al laboratori, les cèl·lules no pateixin una transformació d'especialització i, per tant, mantinguin el seu potencial intacte. Així doncs, per originar aquesta especialització les cèl·lules mare embrionàries necessiten uns senyals específics per diferenciar-se en el tipus que es requereix. Aquest punt és molt important i es pot considerar un desavantatge si no es duu a terme, ja que si s'injecten directament i sense un tractament dirigit, el resultat pot desencadenar en un teratoma¹⁴ a causa de la quantitat de cèl·lules amb funcions diferents que es crea.

Cal destacar que les cèl·lules mare embrionàries humanes en cultiu utilitzades per a la recerca no provenen d'òvuls fertilitzats dins del cos d'una dona, però sí que impliquen la destrucció de l'embrió. Es poden obtenir de masses cel·lulars internes de blastòcits creats al laboratori que formen part dels programes de fertilització in vitro¹⁵ (FIV) o mitjançant clonació terapèutica¹⁶.

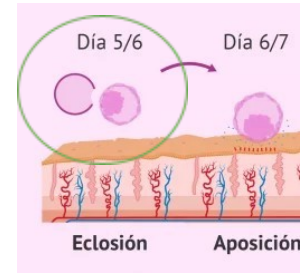
¹³ Capacitat per diferenciar-se en diferents tipus cel·lulars.

¹⁴ Tumor produït pel desenvolupament irregular de cèl·lules pluripotents.

¹⁵ Tractament de reproducció assistida d'alta complexitat.

¹⁶ Tècnica de transferència nuclear.

A conseqüència de tots aquests fets, les cèl·lules embrionàries tenen diverses aplicacions que constitueixen un interès molt gran per a la ciència. Són extremadament valuoses perquè poden servir com a font il·limitada de cultius cel·lulars i tenen una capacitat natural de reparació d'òrgans afectats. A més a més poden utilitzar-se per a la investigació de processos de desenvolupament habitual, processos relacionats amb malalties [Fig 17] Preimplantació i, en relació amb aquesta última, per desenvolupar tractaments de patologies.



3.2.2. Cèl·lules mare adultes

També conegudes com a cèl·lules mare específiques de teixit, són cèl·lules indiferenciades d'origen natural que es troben en petites quantitats en la majoria dels teixits del cos. Una de les funcions primordials és que poden renovar-se i generar noves cèl·lules per tal de reemplaçar el teixit particular danyat. Els llocs que s'han estudiat i dels quals podem obtenir-les són en el sistema nerviós central, el fetge, el múscul, la medul·la òssia, l'epidermis i l'epiteli intestinal. Hi ha 5 tipus de cèl·lules mare adultes: les hematopoètiques, les mesènquimals, les neurals, les epitelials i les de la pell.

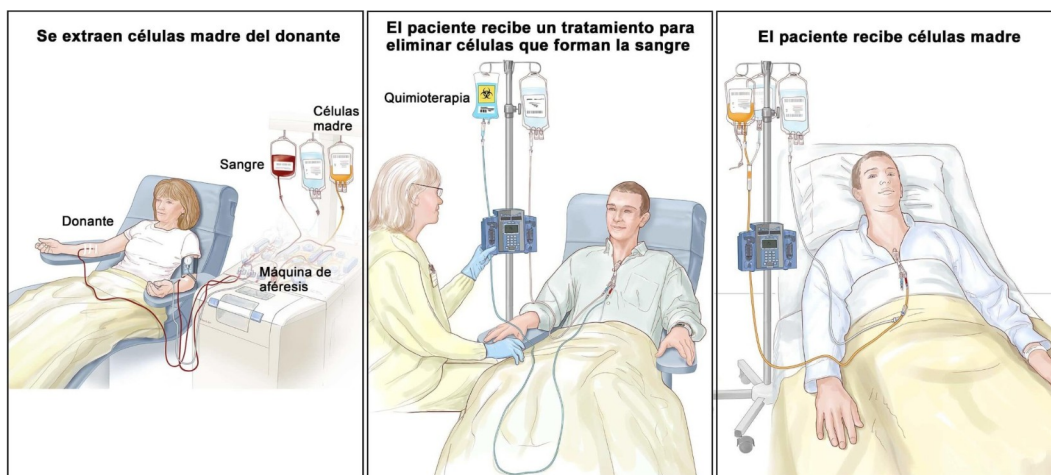
En relació al seu potencial, les classifiquem en un punt intermedi perquè són multipotents i, per tant, en comparació amb les cèl·lules mare embrionàries, posseeixen una capacitat més limitada per diferenciar-se. Això vol dir que només donen origen a cèl·lules d'un òrgan o línia cel·lular concreta, sigui d'un embrió o d'un organisme adult.

Aquestes unitats de vida es caracteritzen perquè poden proliferar, durant el temps de vida de l'òrgan o teixit de qui procedeixen, sense necessitat de patir una diferenciació. A més a més, una altra característica que les fa molt interessants i que alhora les diferencia de les CME, és la capacitat que tenen per diferenciar-se en cèl·lules madures i amb funcions molt específiques depenent del lloc on les empeltin¹⁷.

¹⁷ Inserir en una lesió de manera que s'estableixi una unió orgànica.

Fins fa relativament poc temps, i tal com he mencionat abans, els investigadors asseguraven que aquestes cèl·lules “només” eren capaces de generar tipus de cèl·lules similars entre elles. No obstant això, l'evidència emergent i les investigacions dutes a terme suggereixen que hi ha cèl·lules mare adultes pluripotents i que, per exemple, cèl·lules mare de la medul·la òssia podrien crear cèl·lules del múscul cardíac.

Diverses són les recerques, aplicacions i investigacions relacionades amb aquestes cèl·lules. Un exemple d'això és que l'any 1968 es va utilitzar per primer cop les cèl·lules mare adultes de la medul·la òssia en teràpies clíniques. Des de llavors, aquestes cèl·lules són les que fan possible que mitjançant un trasplantament de medul·la òssia es regeneri el sistema sanguini complet d'una persona malalta.



[Fig 18] Esquema trasplantament cèl·lules mare adultes pel tractament del càncer

Font: Institut Nacional del Càncer

3.2.3. Cèl·lules mare de pluripotència induïda (iPS)

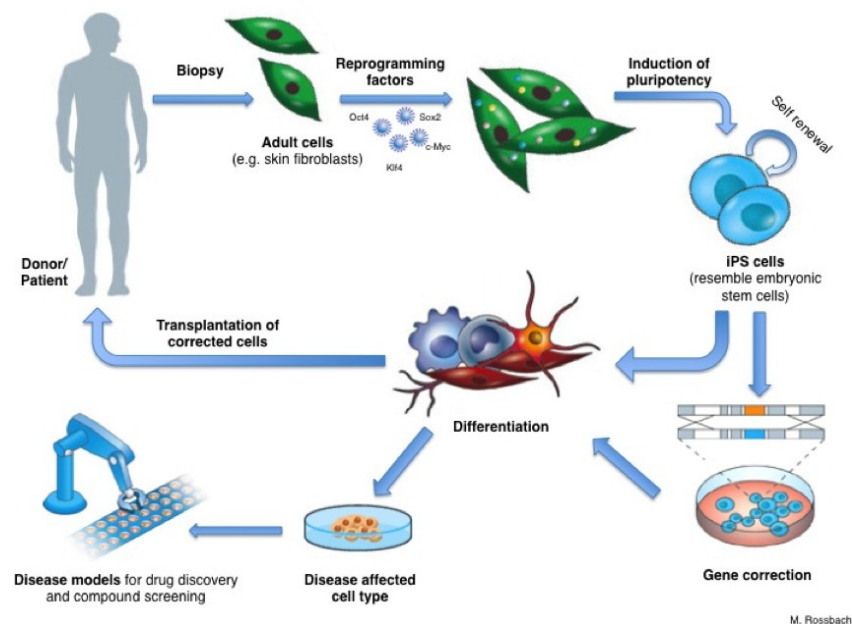
Són cèl·lules mare d'origen artificial que, tal com el seu propi nom indica, s'obtenen als laboratoris i provenen de cèl·lules somàtiques¹⁸ adultes extretes de qualsevol teixit específic. Han estat genèticament modificades mitjançant una reprogramació que funciona de tal manera que retornen a la cèl·lula a un estadi de desenvolupament inicial desactivant els gens que la feien específicament funcional.

¹⁸ Qualsevol cèl·lula del cos excepte els gàmetes.

Tot i que no provenen d'un embrió, tenen gairebé les mateixes propietats que les cèl·lules mare embrionàries, ja que ambdues són pluripotents i, per tant, poden diferenciar-se en cèl·lules de teixits pertanyents a les tres capes germinals d'un embrió natural. Es poden mantenir i multiplicar en cultiu i una de les grans diferències que les distingeix de les CME, és que aquestes no presenten problemes ètics respecte a la seva procedència perquè les cèl·lules obtingudes provenen del mateix pacient. Això permet que a l'hora de fer un trasplantament no hi hagi risc de rebuig immunològic.

Aquest mètode de reprogramació genètica per crear cèl·lules similars a les embrionàries va ser descobert l'any 2006 pel laboratori de Shinya Yamanaka al Japó, però no va ser fins a l'any 2012 que no va ser reconegut amb el premi Nobel de Medicina pel seu treball.

Algunes de les aplicacions d'aquestes cèl·lules van destinades a l'estudi de models de malalties i assajos amb fàrmacs. De tota manera, encara és un mètode molt nou que necessita molts més anys d'investigació abans del seu ús en teràpies clíniques consolidades.



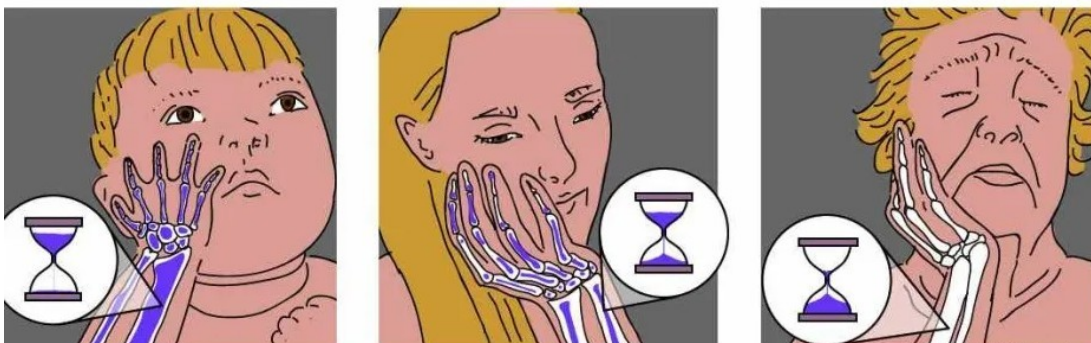
[Fig 19] Esquema del procés d'obtenció cèl·lules IPS i aplicacions

Font: www.eurostemcell.org

4. IMPORTÀNCIA DE LES CÈL·LULES MARE

Quan ens fem mal, les cèl·lules que formen part de la lesió resulten danyades o simplement moren. És llavors quan les cèl·lules mare s'activen i, com ja sabem, gràcies a elles els teixits i els òrgans del cos es regeneren o es repararen per si mateixos.

Segons els científics, sembla que tots els teixits presenten cèl·lules capaces de mantenir i compensar el metabolisme. Aquest procés que sembla molt senzill, però que no ho és pas, ens manté sans i evita l'envelliment prematur. Amb relació a aquesta evolució se sap que com més joves són les cèl·lules mare de la persona més gran és la capacitat de compensació. Per contra i amb el pas del temps, el nombre i les funcions de les cèl·lules mare disminueix i com a resultat tenim una anul·lació per fer front a les demandes existents de reparació.



[Fig 20] Il·lustració de la implicació de les CM en l'envelliment

Font: www.theniche.es

Malgrat això, el sistema nerviós i el cardíac són teixits que presenten una activació menor i enrederida en totes les etapes de la vida. Això i d'altres factors, produeixen malalties irreversibles que per ara són incurables com, per exemple, el Parkinson o l'Alzheimer.

Les malalties, entre d'altres, són un dels principals motius de l'estudi de les aplicacions, els problemes ètics, la recerca, els avantatges i els desavantatges que aquestes meravelles cel·lulars proporcionen.

4.1. Avantatges i desavantatges de les cèl·lules mare

Tant les cèl·lules mare adultes com les cèl·lules mare embrionàries presenten avantatges i desavantatges que ajuden o dificulten a les recerques. Tanmateix, molts d'aquests factors es presenten en forma de diferències i contraposicions entre elles.

<u>Propietats cèl·lules mare</u>	
<u>Embrionàries</u>	<u>Adultes</u>
• Origen: Embrions	• Origen: Diferents teixits del cos
• Presenten problemes ètics	• No presenten problemes ètics
• Pluripotents	• Multipotents
• Provoquen rebuig immunològic	• S'obtenen de cèl·lules del propi pacient.
• Característiques òptimes al cultiu	• Característiques òptimes de cultiu inferiors

[Fig 21] Diferències CME i

CMA Font: Pròpia

La principal diferència entre unes cèl·lules i les altres és la seva procedència. Mentre que les adultes provenen de cèl·lules somàtiques del cos reconvertides en cèl·lules mare, les altres poden obtenir-se de dues maneres. La primera d'elles és extreure-les dels embrions obtinguts en la FIV i la segona manera és mitjançant clonació terapèutica. En aquest cas s'extreu el nucli d'una cèl·lula del pacient i s'implanta en un òvul d'una donant, prèviament enucleat. S'obté un embrió que és un clon del pacient, s'extreuen les cèl·lules embrionàries, es cultiven i s'obtenen els teixits. Per aquest motiu precisament les cèl·lules mare embrionàries presenten un problema ètic-social, ja que alguns grups de persones defensen que està malament tractar amb embrions humans exclusivament per a la investigació. Consideren que l'ús de les cèl·lules mare adultes és l'indicat i això fa que en surtin beneficiades.

A propòsit d'això, cal tenir en compte que les CME presenten una pluripotencialitat i, per tant, en termes d'aplicacions i recerca resulten més interessants per als científics que no les CMA, que només poden produir alguns teixits. Altrament, les cèl·lules mare adultes presenten una gran característica a l'hora d'implantar-les als pacients, ja que no produeixen rebuig immunitari com passa amb les embrionàries. Per culpa del rebuig que poden provocar les cèl·lules mare embrionàries, els pacients poden requerir un agressiu tractament d'immunodepressors.

Per últim, cal destacar en els dos casos l'avantatge que presenten en relació amb la proliferació en el cultiu cel·lular i les àmplies característiques que ajuden al procés, encara que no en els dos tipus es presenta de la mateixa manera.

4.2. Aplicacions

Tot i que podríem parlar de moltes de les aplicacions de les cèl·lules mare, la més extensa és la seva utilització en teràpia regenerativa. Això vol dir que s'utilitzen per substituir altres cèl·lules que han estat danyades a causa de diferents malalties com el càncer, les malalties cardíaques, el Parkinson, l'esclerosi múltiple, el vessament cerebral o el Huntington.

L'aplicació d'aquestes CM és un tractament que fa molts anys que funciona i dona lloc a la curació de molts malalts. La forma més habitual i coneguda de la teràpia cel·lular és el transplant d'agents hematopoètics, capaç de curar malalties tumorals com la leucèmia, els limfomes o els mielomes.

Tot i que durant els últims anys s'han generat expectatives molt grans respecte que la teràpia cel·lular pot contribuir a curar moltes d'aquestes malalties, la veritat és que en la major part dels casos aquestes investigacions estan encara en els seus inicis. No obstant, tant en medicina ortopèdica com en lesions cutànies, la teràpia ja ha demostrat la seva eficàcia, però en malalties degeneratives encara continua la investigació. Per tant, podem dir que l'estudi de CM és una ciència experimental en procés de desenvolupament.

5. PLANÀRIES D'AIGUA DOLÇA

Aquest desenvolupament d'estudis de cèl·lules mare del que parlàvem fa uns moments, té algunes de les seves claus en la mateixa natura, concretament en els organismes que la formen. Alguns d'aquests exemples d'animals són les salamandres, les granotes o les planàries. Aquestes últimes tenen un gran paper en la investigació amb CM i són el centre al voltant del qual gira el meu treball.

Les planàries d'aigua dolça que tractarem són organismes pertanyents al filum¹⁹ dels platihelminths de la classe turbellaria i, més específicament; a la família dugesiidae. Aquest grup d'animals el formen cucs aplanats que viuen de manera lliure a la natura i que tenen una dimensió considerablement petita. Tot i que semblen ser uns organismes molt simples, no es poden subestimar, ja que la seva estructura està tan ben construïda que funciona com el més precís dels rellotges. Tenen, al mateix temps, el sistema orgànic més senzill i complex que existeix.

La seva simplicitat estructural presenta dues característiques poc comunes que les distingeix de moltes espècies. La primera d'elles és que tenen un cap pròpiament diferenciat amb dues petites taques oculars que utilitzen a mode de fotoreceptors i la segona de les característiques és que la cavitat bucal es troba més a prop de la cua que del cap. Aquest tret permet a la planària una ràpida absorció de l'aliment des de la faringe fins a l'estómac, per la seva proximitat amb ell. A més a més, a les cèl·lules properes a l'intestí és on, precisament, es duu a terme aquesta digestió i la distribució de nutrients.

L'aplanament del seu cos es deu a la poca presència de cavitat corporal, ja que no tenen ni aparell respiratori ni circulatori. La respiració es produeix de manera que pel mateix conducte que agafen l'oxigen expulsen el diòxid de carboni.



[Fig 22] Planària

Font: www.wikipedia.es

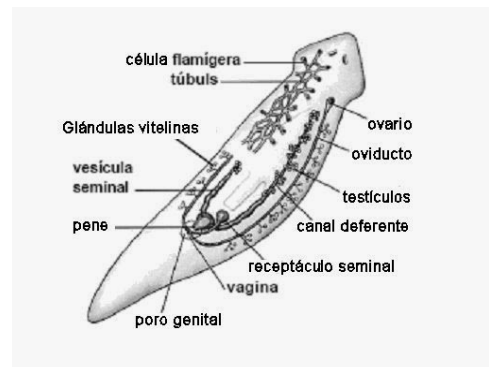
¹⁹ Categoria taxonòmica de classificació inferior a regne i superior a classe.

6. CARACTERÍSTIQUES DE LES PLANÀRIES

A part de les característiques físiques i estructurals, les planàries van més enllà amb les seves propietats. Algunes d'elles, com la manera que tenen de moure's i la reproducció, ens permeten entendre millor el motiu del seu estudi per investigacions.

El moviment de les planàries es produeix gràcies a uns porus que s'encarreguen d'expulsar una pel·lícula de muc gelatinós que permet, per mitjà de contraccions musculars, el desplaçament del seu cos.

Amb relació al sistema reproductiu, totes les planàries són hermafrodites²⁰ i tenen una curiosa capacitat reproductiva que les fa encara més especials, ja que es poden reproduir tant sexualment com asexualment. Si ho fan de la primera manera, llavors cada planària és capaç, gràcies al seu sistema hermafrodita, de donar i rebre esperma per formar ous que es mantenen al seu interior fins que fan eclosió. Mentre que si ho fan de la segona manera, el mateix animal és el que separa la cua del cap i dona lloc a dos individus idèntics. Aquesta espectacular manera de reproduir-se és conseqüència directa de la capacitat de regeneració cel·lular que tenen les planàries, causada per una sèrie de cèl·lules mare totipotents.



[Fig 23] Parts sistema hermafrodita

Font: www.barbaspensantes.blogspot.com

6.1. Regeneració cel·lular de les planàries

La característica primordial de les planàries és que tenen una de les habilitats regeneratives més grans que existeixen pel fet que poden regenerar tots els teixits, incloent-hi el nerviós, i formar nous individus (idèntics a l'original) amb només una petita part del seu cos.

²⁰ Organismes que presenten tant òrgans masculins com femenins.

Al voltant d'una cinquena part de la seva estructura, el 20% aproximadament, està format per cèl·lules mares amb potencial necessari per diferenciar-se en qualsevol mena cel·lular (totipotents). Aquestes cèl·lules són anomenades neoblasts i, per tant, a més de permetre la diferenciació cel·lular, es poden dividir i construir zones que han estat tallades o danyades. Una curiositat d'aquesta capacitat és que el volum mínim al qual es pot produir això és 1/279ava part del seu volum total o bé, un fragment d'unes 10.000 cèl·lules.

Encara que es consideren cèl·lules mare totipotents, no totes són iguals en la seva totalitat, ja que no està clar si el 100% d'elles responen a les lesions de la mateixa manera o si pel contrari, les que responen són específiques del tipus de lesió. Això vol dir que s'està investigant si les cèl·lules mare de les planàries tenen gens específics activats per cada situació específica i, si els tenen, com funcionen i intervenen en el procés.

Per tant, com a síntesi, podem dir que són una interessant eina per als científics en l'estudi de processos genètics i bioquímics que tenen implicació en aquests transcurso de regeneració i regulació de les cèl·lules mare i la possible, o no, aplicació dels avenços a teràpies.

7. CLASSIFICACIÓ I TIPUS DE PLANÀRIES

Com passa en la majoria d'organismes, aquests no sempre tendeixen a classificar-se en un únic model o espècie sinó que dins de la mateixa família en trobem de diferents. En les planàries passa exactament el mateix i és per això que, com ja hem descrit les planàries a nivell morfològic, ara ens centrarem a explicar les diferents espècies que podem trobar a Catalunya.

Segons la classificació proposada per Ball el 1974, els platihelminths es poden dividir en tres famílies: la família DugesIIDae amb 103 espècies, la família Planariidae amb 80 espècies i la família Dendrocoelidae amb 150 espècies. Algunes de les més típiques a Europa entre totes aquestes, es troben registrades en aquesta taula.

	Presència a		Llargada
	Catalunya	Balears	adults típica (en mm)
Família DUGESIIDAE			
Gènere <i>Dugesia</i>			
Subgènere <i>Schmidtea</i>			
<i>Dugesia</i> (S.) <i>lugubris</i>	—	—	5-25
<i>Dugesia</i> (S.) <i>polychroa</i>	—	—	5-25
<i>Dugesia</i> (S.) <i>mediterranea</i>	**	**	5-30
Subgènere <i>Dugesia</i>			
<i>Dugesia</i> (D.) <i>gonocephala</i>	**	**	5-25
<i>Dugesia</i> (D.) <i>sicula</i>	—	**	5-20
Subgènere <i>Girardia</i>			
<i>Dugesia</i> (G.) <i>tigrina</i>	**	—	5-15
Família PLANARIIDAE			
Gènere <i>Planaria</i>			
<i>Planaria</i> <i>torva</i>	—	—	5-15
Gènere <i>Polycelis</i>			
<i>Polycelis</i> <i>felina</i>	**	—	5-15
<i>Polycelis</i> <i>nigra</i>	**	—	5-12
<i>Polycelis</i> <i>tenuis</i>	—	—	5-15
Gènere <i>Phagocata</i>			
<i>Phagocata</i> <i>vitta</i>	**	—	<12
Gènere <i>Crenobia</i>			
<i>Crenobia</i> <i>alpina</i>	**	—	5-12
Família DENDROCOELIDAE			
Subfamília <i>Dendrocoelinae</i>			
Gènere <i>Dendrocoelum</i>			
<i>Dendrocoelum</i> <i>lacteum</i>	—	—	7-35

[Fig 24] Espècies típiques de planàries d'aigua dolça a Europa

Font: Les Planàries d'aigües dolces a Catalunya i les illes Balears.

I. Clau sistemàtica i distribució geogràfica

7.1. Espècies presents a Catalunya i la seva localització

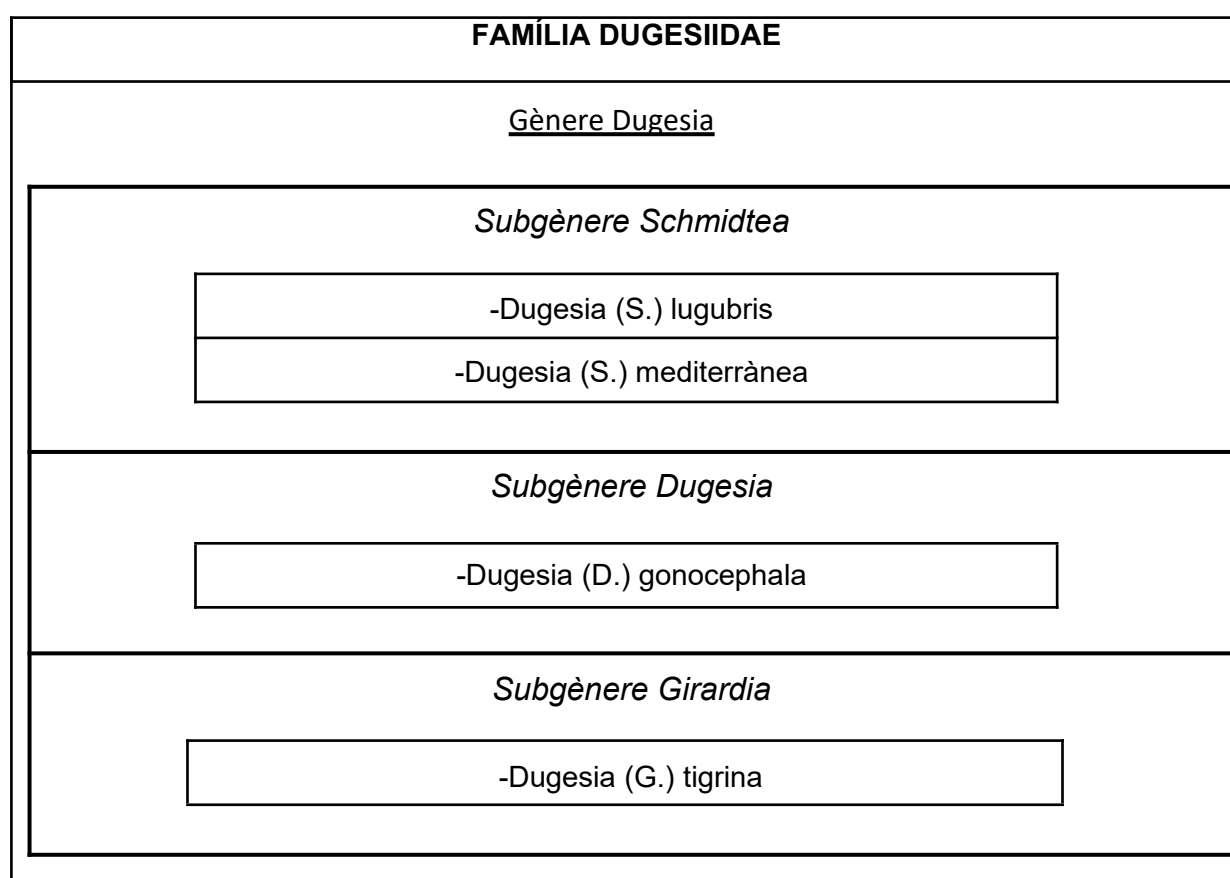
Tot i la importància regenerativa d'aquests éssers, el nombre de treballs i estudis en relació amb els tipus d'espècies presents a Catalunya és molt escassa i pràcticament inexistent. A més a més, dels pocs treballs que en parlen, la majoria aporten informacions molt antigues i sovint incompletes o mal fetes. No obstant això, el més actual que he trobat i que se centra en això és un article²¹ publicat l'abril de 1980 pel Departament de Genètica de la facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona.

²¹ Jaume Baguñà, Emili Saló i Rafael Romero, «Les planàries d'aigües dolces a Catalunya i les Illes Balears. I. Clau sistemàtica i distribució geogràfica»

A Catalunya s'han descrit un total d'entre set i vuit espècies diferents de planàries d'aigua dolça i cadascuna d'elles es troba en localitats i zones específiques atenent a les seves característiques (físiques i químiques). Cal destacar que, d'aquesta classificació, les espècies que es poden trobar a Catalunya pertanyen només a dues de les tres famílies esmentades anteriorment: la DugesIIDae i la Planariidae.

De la primera família de planàries en tenim quatre espècies del gènere *Dugesia*, però dues d'elles pertanyen al subgènere *Schmidtea*, la *Dugesia* (S.) *lugubris* i la *Dugesia* (S.) *mediterrànea*; una al subgènere *Dugesia*, la *Dugesia* (D.) *gonocephala* i una altra al subgènere *Girardia*, la *Dugesia* (G.) *tigrina*.

De la segona família de planàries en tenim tres gèneres i una espècie per cadascun d'ells. En el gènere *Polycelis* tenim la *Polycelis felina*, en el gènere *Phagocata* la *Phagocata vitta* i en el gènere *Crenobia* la *Crenobia alpina*.



[Fig 25] Classificació de les espècies trobades a Catalunya de la família DugesIIDae

Font: Pròpia

FAMÍLIA PLANARIIDAE		
<u>Gènere Polycelis</u>	<u>Gènere Phagocata</u>	<u>Gènere Crenobia</u>
-Polycelis felina	-Phagocata vitta	-Crenobia alpina

[Fig 26] Classificació de les espècies trobades a Catalunya de la família Planariidae

Font: Pròpia

Respecte dels llocs on trobem cadascuna de les planàries cal destacar que en algunes de les localitats han pogut desaparèixer o aparèixer de noves, ja que les dades extretes, com he dit abans, són del segle XX i potser amb el temps han variat. De tota manera, les citacions que esmentaré a continuació són prou significatives per entendre una mica quines zones són les més poblades per aquests éssers.

De cadascuna de les espècies s'esmentan els llocs més significatius on es troben:

- *Dugesia (S.) lugubris*
-Riu Noguera Pallaresa
- *Dugesia (S.) mediterrànea*
-Pantà de la Foixarda
-Fonts del viver dels Tres Pins
- *Dugesia (D.) gonocephala*
-Rierols prop del Mas Pahí a les Borges del Camp
-Torrents de Pareis
-Font de s'Olla
- *Dugesia (G.) tigrina*
-Riu Calders
-Riera de Caldes a Caldes de Montbui
-Riu Fluvià
-Llac de Banyoles
-Riu Daró
-Riu Ter



[Fig 27] *Dugesia (S.) mediterrànea*

Font: www.wikipedia.com



[Fig 28] *Dugesia (D.) gonocephala*

Font: www.wikipedia.com

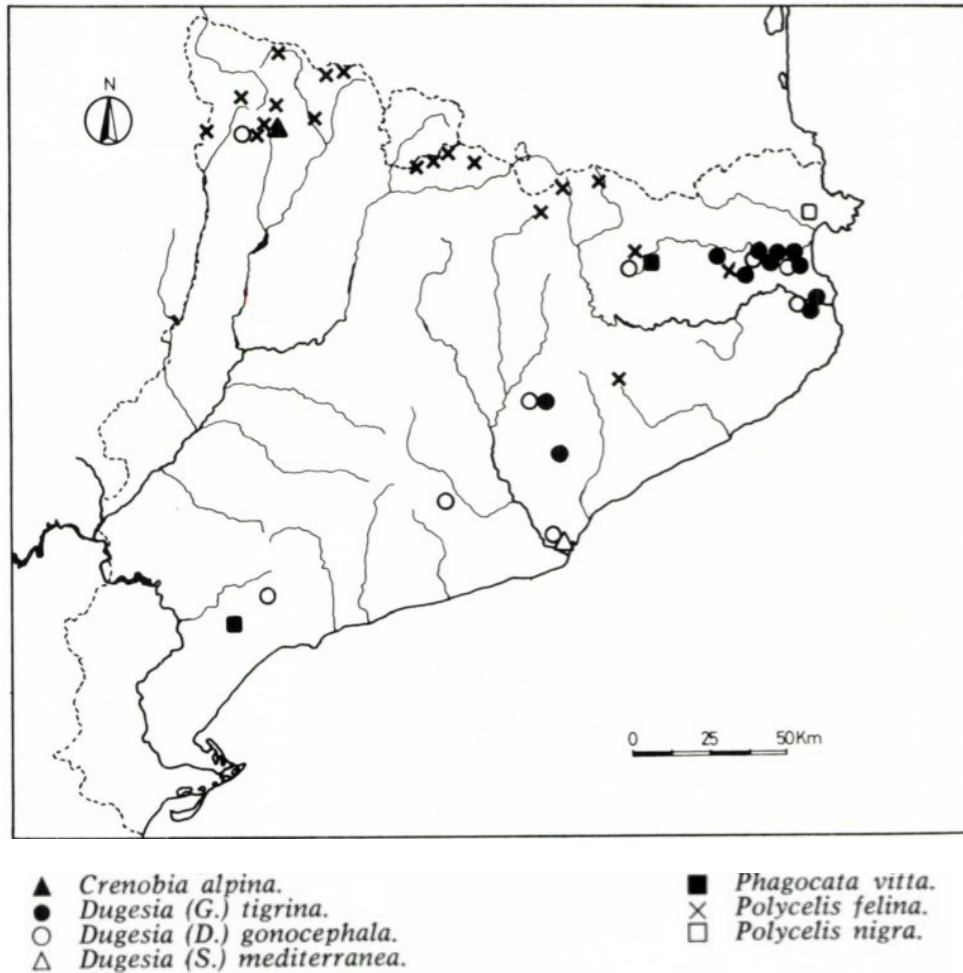
- *Polycelis felina*
 - Llac de Banyoles
 - Port de la Bonaigua
 - Riu Noguera Pallaresa
 - Cap de Rec
 - Font Moixina
 - Estanys de la Pera



[Fig 29] *Polycelis felina*

Font: www.wikipedia.com

- *Phagocata vitta*
 - Font de la Moixina
 - Font de la torre de la Fontaubella
- *Crenobia alpina*.
 - Rierol del Ilac Negre



[Fig 30] Representació zones de les espècies trobades a Catalunya

Font: Les Planàries d'aigües dolces a Catalunya i les illes Balears.

I. Clau sistemàtica i distribució geogràfica

8. IMPORTÀNCIA DE LA INVESTIGACIÓ AMB PLANÀRIES

Les distintives característiques de les planàries les fan uns organismes molt importants en l'àmbit experimental, però tot i les seves propietats regeneratives, encara no es coneix ben bé quins són els mecanismes moleculars i cel·lulars que les permeten regenerar-se. Aquesta qüestió és potser la més rellevant en referència als objectius que tenen els laboratoris i les investigacions que treballen amb aquests éssers vius.

En el regne animal la regeneració està àmpliament distribuïda, però el que succeeix és que en algunes espècies es dona i en altres no i, per tant, el gran desig és esbrinar perquè les capacitats regeneratives són tan irregulars en aquest regne. Això permetrà apropar-nos a tecnologies que encara no hem inventat i tractaments terapèutics que no hem provat a causa del poc coneixement dels processos biològics en l'àmbit intermolecular que tenim. Per respondre aquesta pregunta sobre la irregularitat de regeneració, els científics es plantegen dues hipòtesis. La primera d'elles ens diu que cada espècie ha inventat la seva forma de regenerar-se i la segona suggereix que els processos d'adaptació i evolució han eliminat o potenciat aquests mecanismes.

Les recents investigacions manifesten que el genoma dels éssers humans; per exemple, conté els mateixos gens necessaris per regenerar-se que utilitzen les planàries per fer-ho. El que passa és que tenim les eines, però no les instruccions adients d'activació del mecanisme perquè les vam perdre per mantenir la capacitat regenerativa a escala fisiològica. A diferència d'altres éssers que tenen les cèl·lules molt diferenciades, gràcies a la gran abundància de cèl·lules mare que formen els cossos de les planàries podem esclarir com es determina la potencialitat.

De moment, els investigadors continuen investigant com és possible la coordinació perquè no es generin tumors i que, pel contrari, es generin el nombre i tipus apropiat de cèl·lules per mantenir la forma adient en funció de l'animal. Tanmateix, encara s'ha de seguir investigant i treballant per poder arribar als resultats que es volen aconseguir.

II. PART PRÀCTICA

9. PUNT DE PARTIDA I HIPÒTESIS

L'objectiu general recollit bibliogràficament en la primera part del treball consistia a investigar i comprendre les característiques de les cèl·lules mare i les planàries i el procés de regeneració que realitzen. Ara que això ja està complert, ja es pot desenvolupar la part més pràctica de la recerca i que he explicat molt breument al començament del document.

Aquesta part es fonamenta en estudiar de manera pràctica les diferents qüestions que he anat explicant en la part teòrica per tal de resoldre unes hipòtesis i finalment redactar unes conclusions que verifiquin o refutin les premisses. Abans d'explicar detalladament en què consisteix la meua part pràctica, cal destacar que em vaig marcar uns objectius inicials que pretenc dur a terme durant l'experiència. El primer d'ells consisteix en analitzar el comportament de les planàries de manera general i prendre notes de les seves característiques físiques i estructurals. El segon objectiu consisteix en determinar si l'entorn i les condicions en que mantinc les planàries és adient per la seva regeneració. El tercer objectiu consisteix en l'observació del procés de regeneració cel·lular en aquests organismes invertebrats i el quart i últim, relacionat directament amb l'anterior, pretén analitzar també el procés de regeneració de les planàries però sotmetent-les abans a factors com la llum ultraviolada.

Els dos problemes que es pretenen resoldre en aquesta pràctica són els següents: el primer d'ells planteja si hi ha diferències notables entre planàries tallades i no tallades en referència al temps de creixement d'unes i altres i el segon d'ells estudia si afecta d'alguna manera a la seva regeneració l'exposició de les planàries a llum ultraviolada. Amb relació a aquests dos problemes vaig establir hipòtesis atenent al que pensava que succeiria:

- Potser la llum ultraviolada afecta a les cèl·lules mare en la regeneració i no permet que aquesta es doni a terme adequadament i condueix a la mort.

9.1. Resum i idees clau de l'experiència

La recerca com a tal consisteix a estudiar un grup inicial de planàries i anar realitzant talls als diferents grups en què les divideixo per tal d'esbrinar si de veritat són capaces d'autoregenerar-se mitjançant cèl·lules mare i reparar les zones afectades o no.

El començament de l'experiència s'inicia a la cambra de cria del centre de recursos pedagògics específics de suport a la innovació i la recerca educativa (CESIRE), on vaig anar a recollir el grup de planàries amb què treballaria i al qual dono les gràcies per proporcionar-me la peça clau per a dur a terme el treball. Com he mencionat al punt cinc, les planàries que em van proporcionar pertanyen a la família dugesiidae, concretament a l'espècie *Schmidtea mediterrànea*.



[Fig 31] Cambra de cria CESIRE

Font: Pròpia

El mètode utilitzat en la pràctica és el mètode experimental, que consisteix en la recol·lecció de dades per a la posterior comparació dels resultats del comportament del grup control amb els resultats del grup estudiat. Aquest mètode ha implicat l'observació, la manipulació i el registre de les variables (temps, creixement...) dels objectes d'estudi, que en aquest cas són les planàries. Per concloure el procés poso a prova les hipòtesis fins a comprovar com s'ajusten a la realitat i finalment les accepto, les refuto o elaboro de noves. En el procés s'han anat fent anotacions a mode de diari que registren totes les variables estudiades, com el temps de creixement, així com les variables controlades, com poden ser l'alimentació o les condicions d'ambient, per tal de facilitar l'explicació de les experiències detalladament i acompanyar-les amb fotografies i gràfics que permetin una interpretació fàcil dels resultats.

Tot i que en un principi la idea principal era realitzar una única experiència dividida en diferents etapes, per complicacions que més endavant explicaré, vaig haver de realitzar-ne dues. La primera d'elles ocupa un període de temps molt breu en comparació amb la segona, ja que la inicial va durar dues setmanes i l'altre cinc mesos. Aquesta segona és la que té un paper important en les fonamentacions de les explicacions i l'obtenció de dades perquè la informació obtinguda és més significativa i àmplia. A més a més, la variable de la llum ultraviolada de la qual parlava abans també l'he estudiat en aquesta segona etapa. La relació entre aquest tipus de llum i la regeneració de les planàries està esmentada en el següent punt.

9.2. Llum ultraviolada i planàries

La llum ultraviolada (UV) és la radiació electromagnètica amb una longitud d'ona²² menor que la de la llum visible i major que la dels raigs X i presenta una gran relació amb els organismes principals del treball, les planàries.

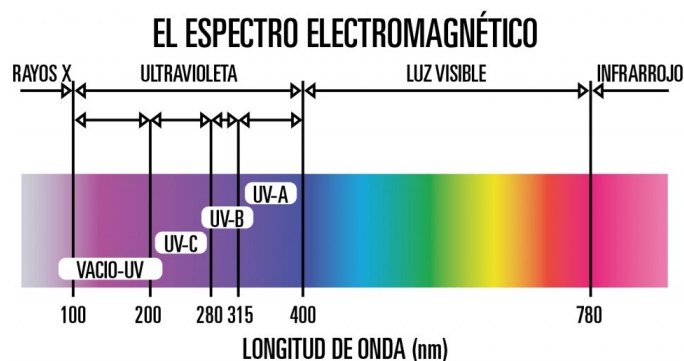
La principal característica respecte a aquest factor és que els investigadors han esbrinat que les planàries presenten la propietat de detectar la intensitat de la llum i com a resposta s'allunyen d'aquesta. No vol dir que identifiquen el color de la mateixa llum i llavors actuen, sinó que com no tenen fotoreceptors de longitud d'ona específica, el que fan és comparar la quantitat de llum que els arriba d'una o altra.

Alguns estudis, per exemple, han determinat que les planàries *Schmidtea mediterranea* tenen en realitat una visió de tonalitat del color. En addició, també han demostrat que si sotmetem aquests organismes a decapitació i a continuació les exposem a la llum ultraviolada, el que succeeix és que tot i no tenir ulls reaccionen igualment. Això suggereix la hipòtesi que les planàries han desenvolupat dues maneres completament independents de reacció a la llum, una utilitzant els ulls i el cervell i l'altre, que és la que m'interessa, sense necessitat d'utilitzar-los. A més a més, els científics també han descobert que quan les planàries descansen en estat inactiu, s'animen en presència de llum ultraviolada, però en canvi en exposar-les a la llum visible no.

²² Distància física entre dos punts a partir dels quals l'onda es repeteix.

Per tant, la llum ultraviolada en la meua experiència té un paper important, ja que intento demostrar i verificar per mi mateixa si això que he llegit es compleix o si pel contrari és fals. A part de sotmetre les planàries a la llum ultraviolada i veure quina reacció tenen davant d'ella, també he volgut anar més enllà i elaborar la hipòtesi pròpia que diu que en tallar les planàries i posant-les durant x temps a la llum, aquesta potser afectarà les cèl·lules mare i intervindran en el procés de regeneració desencadenant així el poc creixement o la mort dels cucs.

Cal mencionar que aquesta variable no estava segura si la podria estudiar perquè per poder-la dur a terme primer havia d'assegurar-me que un dels grups tallats em regenerés, ja que si això no passava, no obtenia resultats i les planàries es morien, no tindria cap sentit exposar-les a la llum pel fet que els possibles resultats obtinguts no serien fiables ni proporcionals al que estava estudiant.



[Fig 32] Comparació longitud ona llum ultraviolada i llum visible

Font: www.weuvcare.com

9.3. Materials

Abans de començar a explicar les experiències citaré tot el material utilitzat per fer les pràctiques. La gran majoria dels instruments utilitzats són del laboratori de biologia del meu institut i la primera part, com la vaig fer al laboratori de classe, vaig tenir a la meua disposició tot el material que necessitava en cada moment, mentre que en la segona vaig haver d'endur-me a casa meua només els instruments imprescindibles i necessaris.

La llista amb els materials emprats és la següent:

- Quatre cristal·litzadors de 9 cm de diàmetre
- Plaques de petri
- Pipetes Pasteur
- Portaobjectes de cristall
- Bisturí i pinces
- Aigua mineral natural (no pot ser la de l'aixeta)
- Espàtula petita
- Lupa binocular
- Microscopi òptic de fins 1200x
- Làmpada de llum ultraviolada
- Llibreta per apuntar les dades
- Fetge de vaca



[Fig 33] Fotografia del material utilitzat

Font: Pròpia

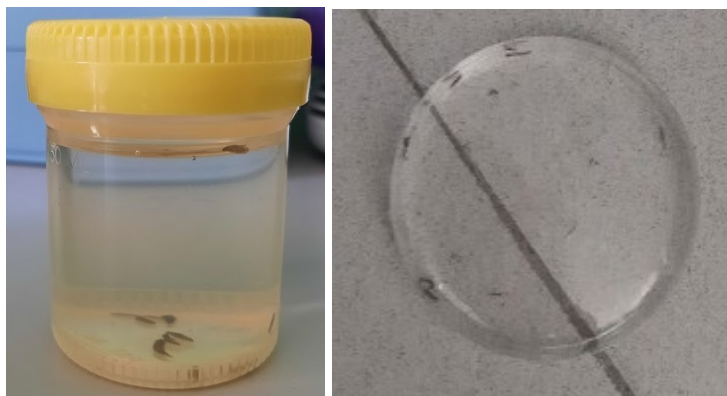
10. EXPERIÈNCIA

A continuació passaré a redactar detalladament el que he fet en cadascuna de les experiències. Com ja he dit anteriorment, primer parlaré de l'experiència 1 i després de l'experiència 2. L'explicació serà descrita a mode de diari i incorporarà imatges que mostrin el que estic explicant així com les dades recollides en gràfiques i taules.

10.1. Experiència 1

La primera experiència va començar el 9 de juny de 2021 i va acabar el 23 de juny de 2021, donant com a resultat un període de temps de dues setmanes. L'objectiu principal d'aquesta primera pràctica és analitzar les característiques físiques de les planàries i estudiar la seva regeneració.

El primer que vaig fer va ser recollir les planàries a la cambra de cria del CESIRE, on em van donar un pot petit amb un total de dotze planàries d'uns 0,7 cm de longitud. Allà em van recomanar canviar-les de recipient a un de més gran per tal de garantir-les un espai més ample per l'intercanvi d'oxigen. Posteriorment, vaig preparar una placa de petri i la vaig omplir amb aigua mineral. A continuació, amb unes pinces; vaig anar agafant d'una en una les planàries per col·locar-les al nou recipient i, com mai havia fet una cosa semblant, em va ser molt difícil agafar-les perquè tenien una mida molt petita.



[Fig 34] A l'esquerra fotografia de les planàries al recipient del CESIRE i la dreta el canvi a la placa
Font: Pròpia

A banda d'interessar-me per l'entorn de les planàries també vaig preguntar a la tècnica de laboratori que me les va donar cada quant temps era necessari donar-les menjar i canviar-les d'aigua. Em va recomanar canviar l'aigua dues o tres vegades per setmana i alimentar-les amb fetge de vaca unes dues, ja que en realitat poden estar llargs períodes de temps sense incorporar res i no moren. Com encara no sabia com reaccionarien a l'experiència, vaig decidir cenyir-me a la recomanació i alimentar-les dos cops per setmana o fins i tot tres.

L'endemà, 10 de juny de 2021, transporto les planàries al laboratori de biologia i les torno a canviar de recipient, però ara utilitzant pipetes Pasteur per no fer malbé les planàries ni provocar-los talls no desitjats. Com s'han de mantenir en un lloc amb poca llum (mai llum directa del sol), sense vibracions i amb una temperatura òptima d'entre 15 i 25 °C decideixo establir-les dins del forn de laboratori que es trobava apagat.

Al següent dia, separo les dotze planàries en dos grups de sis planàries cadascun aprofitant que havia de canviar l'aigua. A més a més, com havia d'alimentar-les vaig anar a comprar al mercat un tros petit de fetge de vaca per tallar-lo en trossos més petits encara, d'uns dos centímetres de diàmetre i seguidament congelar-lo. El 14 vaig alimentar els dos grups de planàries amb dos trossos molt petits de fetge per cada recipient i al cap d'una hora els retiro l'aliment i canvio l'aigua.



[Fig 35] Alimentació planàries

Font: Pròpia

Una vegada tenia ja més o menys controlat com funcionava tot el tema d'alimentació i canvi d'aigua, vaig passar a estudiar el problema principal que és l'estudi de la regeneració. Per fer-ho, el setze de juny vaig agafar tres de les planàries d'un dels grups i les vaig tallar, amb ajuda del microscopi i el bisturí, per la meitat de manera transversal. Com a resultat vaig obtenir tres caps, tres cues i nou planàries sense tocar en un altre recipient a mode de grup control. El divuit vaig anar per veure com progressaven aquests primers talls, prendre notes, alimentar-les i canviar-les l'aigua. Cal destacar que aquesta alimentació que comento només es va fer al grup control perquè les planàries tallades no cal alimentar-les perquè a l'haver estat tallades per la faringe no presenten encara la capacitat per ingerir. Una cosa curiosa de la qual em vaig adonar va ser que en el grup control havien crescut dues noves planàries que no estaven previstes que apareguessin perquè com he dit abans formaven part del grup control i no es van tocar.

Finalment, a l'anar a veure com progressaven les planàries el dia vint-i-tres em vaig adonar que estaven totes mortes excepte una cua tallada que va sobreviure.

10.1.1. Resultats i conclusions experiència 1

En veure que s'havien mort totes les planàries vaig pensar que l'experiència no havia tingut èxit i que no podria estudiar tot el que jo volia, però en comptes d'això el que vaig decidir va ser analitzar totes les dades i resultats que vaig obtenir per veure quines hipòtesis plantejades al principi podia verificar i quines noves podia treure.

Abans de tallar-les, les planàries presentaven una actitud activa perquè no paraven de bellugar-se per tot el recipient d'un costat a un altre, però cal destacar que quan les treia de l'estufa per realitzar observacions estaven totes agrupades a les parets de la placa de petri. Això em va portar a deduir que com que no hi havia quasi res de llum visible no reaccionen tant i aprofiten per descansar. Pel que fa a la grandària sí que vaig notar que després d'alimentar-les estaven una mica més grans que els primers dies.



[Fig 36 i 37] Fotografies fetes amb el microscopi òptic a 100 x de les planàries abans de ser tallades.

Font: Pròpia

En aquestes imatges podem veure clarament l'estructura plana de les planàries. A la figura de la dreta veiem dues fotografies extretes de dues seqüències de vídeo seguides que en unir-se donen la figura d'una planària completa. En la figura de l'esquerra es capta clarament el moviment que fan aquests organismes quan arriben al final del recipient i volen tornar cap enrere. El que fan és girar el cap com si fessin una mena de volta i llavors deixen al descobert la part posterior del cos (marcada amb un cercle verd), en la que s'identifica clarament la faringe.

A l'acabar de tallar les planàries vaig fer una foto a una cua i un cap per veure com es veia i si s'observava alguna cosa especial que a simple vista potser l'ull no arriba a veure. La figura de l'esquerra és el cap de la planària i es pot distingir de la cua perquè a la part central superior es veuen dues taques petites de color negre que són els ulls. Una petita observació que puc fer és que a la fotografia de l'esquerra es veu una taca blanca que dedueixo que és el moc gelatinós que permet, per mitjà de contraccions musculars, el desplaçament del seu cos.



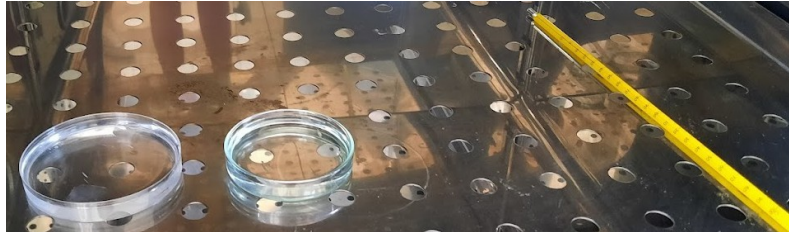
[Fig 38] A l'esquerra fotografia del cap d'una planària tallada i la dreta de la cua

Font: Pròpia

Algunes dades que vaig recollir i que m'han semblat interessants per comentar són que no totes les planàries del grup control s'alimentaven, ja que només ho feien les que tenien una mida més gran. Relacionat amb això, també vaig veure que algunes de les planàries es presentaven molt petites, sobretot les que havia tallat. Una altra cosa interessant és que al cap de dos dies d'haver separat les planàries tallades del grup control, en aquest segon grup van aparèixer dues planàries noves. La hipòtesi que se m'acudeix per aquesta acció és que potser en passar d'un recipient a l'altre vaig danyar alguna part del seu cos.

Respecte a la mort de les planàries tinc dues possibles hipòtesis. La primera d'elles és que potser algun dels factors esmentats anteriorment va afectar les condicions de les planàries i la segona, i per la que més m'inclino, és que potser van morir a causa de l'alta temperatura a la qual estaven sotmeses. Aquesta última hipòtesi té més validesa perquè engloba la mort de les planàries dels dos grups, ja que si fos per un altre factor, només s'haurien mort les d'un grup.

La temperatura que marcava el termòmetre el dia que es van morir era de 30°C, cinc graus més per sobre que la temperatura màxima òptima. Això també és una observació més a favor d'aquesta teoria.



[Fig 39] Fotografia del dia que van morir les planàries, a la dreta un termòmetre de mercuri

Font: Pròpia

Finalment, em vaig adonar de seguida que estaven mortes perquè es mostraven com taques flotants a la placa de petri. Després, amb el microscopi vaig observar-les més de prop i vaig veure que havien perdut el seu color amarronat i la seva forma. Com es veu en les fotografies la major part del seu cos està envoltat de la mucosa blanca.



[Fig 40] Planàries mortes vistes des del
microscopi Font: Pròpia

10.2. Experiència 2

La segona experiència va començar el 30 de juny de 2021 i va acabar el 29 de novembre de 2021, donant com a resultat un període de temps recollit en cinc

messos. Al ser una duració tan extensa està dividida en quatre parts.

Degut a les poques conclusions que vaig poder treure en l'experiència 1, vaig decidir demanar al CESIRE més planàries per seguir analitzant la regeneració de les planàries. Una diferència important entre l'experiència 1 i l'experiència 2 és que aquesta l'he realitzat a casa meva i no al laboratori de l'institut. A conseqüència de la hipòtesi de la temperatura de l'experiència pasada, he decidit posar-les en la cuina de casa meva, ja que és la zona més freda de la casa i no té molt contacte directe amb el sol.

10.2.1. Part 1

Aquesta primera part comença el 30 de juny i acaba el 19 de juliol del 2021. Com en la primera experiència no vaig aconseguir que les planàries es regeneressin i es van morir abans de fer-ho, en aquesta primera part començo amb el mateix objectiu que l'anterior.

Per no repetir-me tota l'estona he decidit agrupar tot el que vaig fer i les dades en la taula que està següidament. En ella esmento el procediment i el recompte de planàries dels grups dels dies en que vaig agafar les dades. A més a més, en la quarta columna s'esmenten, si és necessari, altres aclaracions o informacions.

Dia	Procediment	Recompte Total	Altres
30/06/21	-Recollida de les planàries -Canvi de recipient a un cristal·litzador	15 planàries	•El recipient donat al CESIRE presenta uns organismes petits que no són planàries
2/07/21	-Separació de les planàries en dos grups: a) Grup Control (0) b) Grup planàries tallades (I) -Canvi d'aigua als dos grups	22 planàries Grup 0: 10 planàries Grup I: 12 trossos (6 caps i 6 cues)	•Ha aparegut una planària nova que abans no estava. Potser s'ha tallat sola.

4/07/21	-Alimentació durant 2h del Grup Control. -Canvi d'aigua de tots dos grups.	22 planàries <table><tr><td>Grup 0: 10 planàries</td></tr><tr><td>Grup I: 12 trossos</td></tr></table>	Grup 0: 10 planàries	Grup I: 12 trossos	•Cap baixa
Grup 0: 10 planàries					
Grup I: 12 trossos					
6/07/21	-Canvi d'aigua dels dos grups.	25 planàries <table><tr><td>Grup 0: 13 planàries</td></tr><tr><td>Grup I: 12 trossos</td></tr></table>	Grup 0: 13 planàries	Grup I: 12 trossos	•Hi han algunes planàries del Grup Control molt petites (5) perquè s'han tallat soles. •Les tallades encara no han crescut gaire. •Una planària del Grup Control s'ha unit a una petita i han format una única (<i>fig. 41</i>).
Grup 0: 13 planàries					
Grup I: 12 trossos					
8/07/21	-Alimentació durant 2h i mitja del Grup Control. -Canvi d'aigua dels dos grups.	27 planàries <table><tr><td>Grup 0: 13 planàries</td></tr><tr><td>Grup I: 14 trossos</td></tr></table>	Grup 0: 13 planàries	Grup I: 14 trossos	•Continuen havent-hi cinc planàries del Grup Control molt petites. •Han aparegut dos trossets més de planàries tallades i les altres estan més grans. •Hi han tres caps que ja presenten cua i formen la planària sencera.
Grup 0: 13 planàries					
Grup I: 14 trossos					
10/07/21	-Alimentació durant 2h i mitja del Grup Control. -Canvi d'aigua dels dos grups.	29 planàries <table><tr><td>Grup 0: 15 planàries</td></tr><tr><td>Grup I: 14 trossos</td></tr></table>	Grup 0: 15 planàries	Grup I: 14 trossos	•Ara hi han set planàries del Grup Control molt petites perquè han aparegut dues més. •Tots els caps tenen ja cua i la majoria de les cues cap. •Per tant, podem dir que la regeneració total està quasi completada i només falten cinc o sis per fer-ho.
Grup 0: 15 planàries					
Grup I: 14 trossos					

14/07/21	-Alimentació durant 2h i quart dels dos grups. -Canvi d'aigua dels dos grups.	31 planàries	•Continuen havent-hi dues planàries del Grup Control molt petites. •S'han alimentat als dos grups perquè les planàries del Grup Γ s'han regenerat totes.
		Grup 0: 17 planàries	
		Grup Γ : 14 planàries	
17/07/21	-Alimentació i canvi d'aigua dels dos grups.	38 planàries	•Continuen apareguent planàries petites que no han estat tallades intencionalment.
		Grup 0: 22 planàries	
		Grup Γ : 16 planàries	
19/07/21	-Alimentació i canvi d'aigua dels dos grups.	38 planàries	•Una planària del Grup Control ha mort al canviar-la de recipient. •Hi ha una planària petita al Grup Γ .
		Grup 0: 21 planàries	
		Grup Γ : 17 planàries	

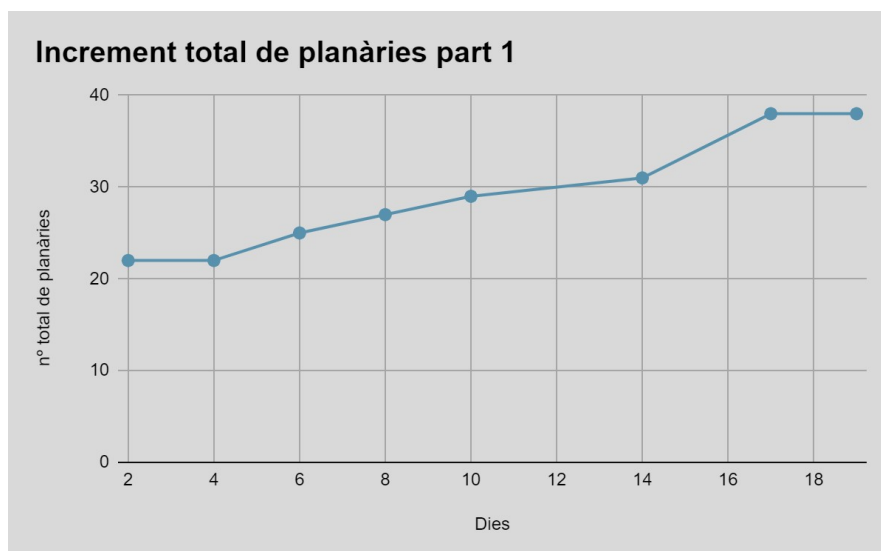
El principal resultat al qual arribem si analitzem totes les dades de la taula és que totes les planàries tallades s'han regenerat al cap de dues setmanes. Per tant, puc afirmar que les planàries són capaces d'autoregenerar-se utilitzant les cèl·lules mare del seu cos per reparar els teixits afectats.

La comparació entre el Grup Control i el Grup Γ em serveix també per veure quines diferències i similituds entre els dos grups hi ha hagut. El grup control, a l'haver estat alimentat durant tot el temps, presenta una mida molt més gran que les planàries del grup Γ , que són una mica més petites però tampoc gaire. Amb relació al creixement cal destacar que van apareixent noves planàries sense haver-les tallat expressament. Penso que això succeeix perquè al passar-les d'un recipient a l'altre, com ja no empro la pipeta sinó una espàtula punxeguda, són danyades i al moure's per l'espai es trenquen. El nombre de noves planàries aparegudes en el Grup 0 respecte l'altre grup és una mica més del doble i, això crec que és perquè és més fàcil danyar les planàries grans que no les tallades que són més petites.

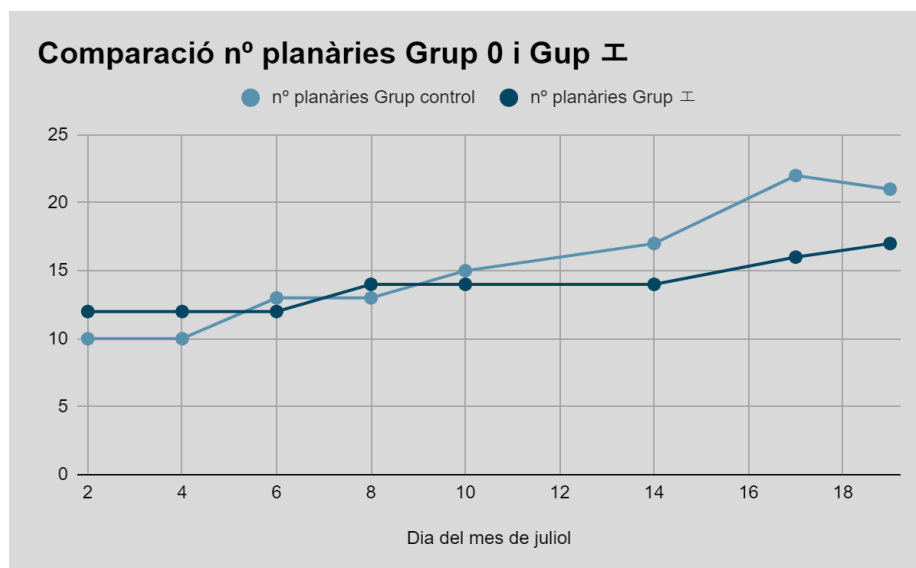
El fenomen que vaig poder captar en forma de vídeo el dia 6 de juliol em va cridar molt l'atenció perquè una planària gran que tenia com la cua trencada es va unir a un tros petit que no tenia cap perquè s'havia trencat al canviar-la de recipient i passats tres minuts van formar una planària sencera. La hipòtesi que vaig elaborar per aquest estrany fenomen va ser que potser, com feia pocs segons que les havia passat a un nou cristal·litzador, la planària gran va identificar que aquella era una part del seu cos i utilitzant cèl·lules mare es va tornar a unir a ella.



[Fig 41] Unió planària gran del GRUP Control amb un tros petit
Font: Pròpia



[Fig 42] Gràfic que mostra l'increment del nº de planàries de la part 1
Font: Pròpia



[Fig 43] Gràfic que mostra la comparació del nº de planàries del Grup 0 i I

Font: Pròpia

10.2.2. Part 2

Aquesta primera part comença el 21 de juliol i acaba el 13 d'agost del 2021. Com en la primera part he obtingut uns resultats molt positius, en aquesta segona he intentat seguir amb aquest procés per veure si en sotmetre les planàries del Grup I una altra vegada a talls es tornen a regenerar igual de bé o si pel contrari és possible que les planàries només s'autoregeneressin una única vegada.

Igual que en la primera part he agrupat tota la informació del procediment i recompte en la següent taula:

Dia	Procediment	Recompte Total	Altres
21/07/21	-Alimentació durant tres hores dels dos grups i canvi aigua.	43 planàries	•Després de l'alimentació dels dos grups es tallen 10 de les 19 del Grup I i les 9 restants es sumen a les 14 del Grup Control.
	-Divisió de les 33 planàries en dos grups:	Grup 0 I: 23 planàries	
	a) Grup Control (0 I) b) Grup planàries tallades (II)	Grup II: 20 trossos (10 planàries)	

25/07/21	-Alimentació durant 3h del Grup 0 I . -Canvi d'aigua dels dos grups.	48 planàries Grup 0 I: 26 planàries Grup II: 22 trossos	•Alguns caps de les planàries del Grup II ja han regenerat la cua.
29/07/21	-Alimentació durant 3h del Grup 0 I . -Canvi d'aigua dels dos grups.	56 planàries Grup 0 I: 34 planàries Grup II: 22 trossos	•La majoria de les planàries del Grup II ja han regenerat el cap i la cua.
3/08/21	-Alimentació durant 3 hores i canvi d'aigua només al Grup 0 I.	60 planàries Grup 0 I: 38 planàries Grup II: 22 trossos	•Encara queden algunes poques cues del Grup II per regenerar el cap. •Canvi de lloc a un més fosc i temperat
13/08/21	-Ni alimentació ni canvi d'aigua durant 10 dies.	59 planàries Grup 0 I: 37 planàries Grup II: 22 trossos	•Les planàries del Grup 0 I estan una mica estresades i unes a sobre de les altres però la mida continua sent més o menys la mateixa. •Les planàries del Grup II estan molt petites però s'han regenerat totes amb èxit.

Igual que en l'anterior part, els resultats han estat molt positius perquè aquesta segona descendència de planàries també s'ha regenerat amb èxit. Aquests resultats han estat més sorprenents que els anteriors perquè en haver-me d'anar de vacances vaig pensar que cap dels dos grups sobreviuri pel llarg període sense canvi d'aigua ni alimentació als dos grups, però en tornar encara estaven vives.

Abans de començar la segona part vaig utilitzar la lupa binocular per veure com es veien les planàries i si hi havia algunes diferències amb les fotografies que vaig fer de l'experiència 1. A simple vista i comparant-les no he notat cap mena de diferència excepte que les d'aquesta experiència són més allargades i clares que no pas les de la primera.



[Fig 44] Fotografies fetes amb la lupa binocular al principi de la part

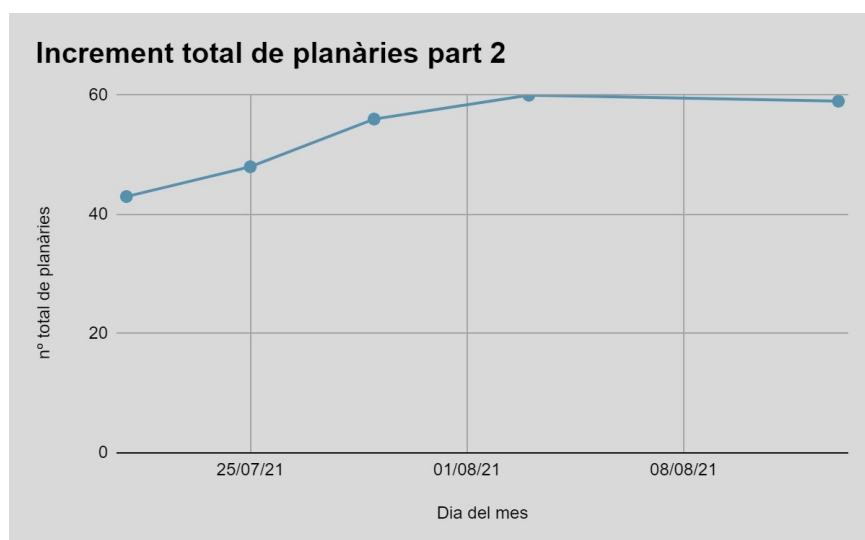
2 Font: Pròpia

Com va passar a la part 1, els caps triguen molt menys en regenerar la cua i formar la planària sencera que no pas a l'inrevés. Això em confirma que en la regeneració de les planàries aquest fet es podria complir sempre, ja que que hagi succeït dues vegades el mateix és bastant curiós.



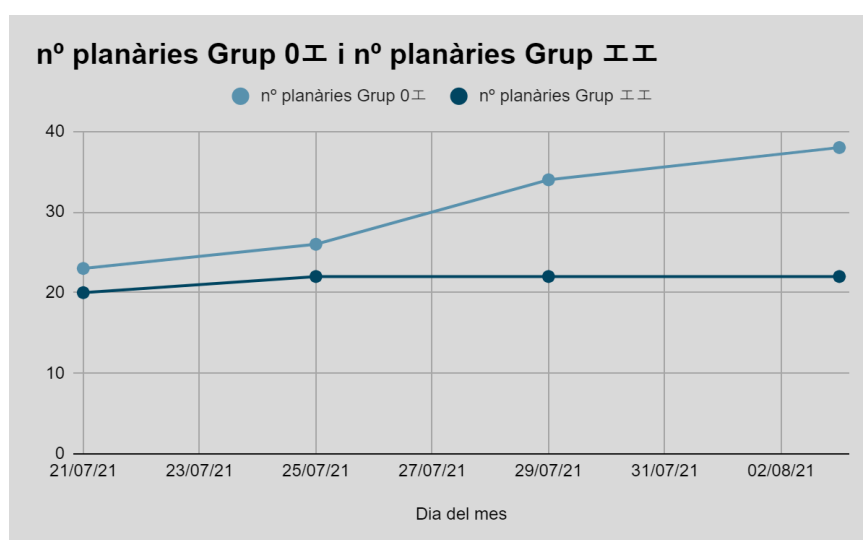
[Fig 45] Fotografies fetes el 13 d'agost al Grup 0 I

Font: Pròpia



[Fig 46] Gràfic que mostra la comparació del nº de planàries del Grup 0 I i I I

Font: Pròpia



[Fig 47] Gràfic que mostra la comparació del nº de planàries del Grup 0 I i I I

Font: Pròpia

10.2.3. Part 3

Aquesta part és una mena d'etapa de transició entre la part 2 i la part 4, ja que en ella no estudiaré cap variable sinó que l'objectiu és mantenir les planàries vives per poder realitzar més endavant, al setembre, l'estudi de l'altre variable que em queda, que és la llum ultraviolada.

Aquesta etapa és la més llarga amb diferència i comença el 14 d'agost i termina el 5 d'octubre de 2021, agrupant un total de dos mesos. Igual que la part 1 i 2 agruparé els resultats en una taula.

Dia	Procediment	Recompte Total	Altres
14/08/21	-Alimentació durant 3h del Grup 0 I i II. -Canvi d'aigua dels dos grups.	59 planàries Grup 0 I: 37 planàries Grup II: 22 planàries	•Les planàries del Grup 0 I presenten molt mucosa blanca i es queden enganxades en l'espàtula al passar-les d'un recipient a l'altre.
16/08/21	-Ni alimentació ni canvi d'aigua de cap dels dos grups.	22 planàries Grup II: 22 planàries	•Les planàries del Grup 0 I s'han mort.
19/08/21	-Alimentació durant 3h del Grup II i canvi d'aigua.	22 planàries Grup II: 22 planàries	•A poc a poc van recuperant la seva mida.
23/08/21	-Alimentació durant 3h del Grup II i canvi d'aigua.	22 planàries Grup II: 22 planàries	/
27/08/21	-Alimentació durant 3h del Grup II i canvi d'aigua.	22 planàries Grup II: 22 planàries	/
7/09/21	-Alimentació durant 3h del Grup II i canvi d'aigua.	22 planàries Grup II: 22 planàries	•Ja han recuperat la seva mida.

12/09/21	-Alimentació durant 3h del Grup ⅠⅠ i canvi d'aigua.	22 planàries Grup ⅠⅠ: 22 planàries	/
16/09/21	-Alimentació durant 3h del Grup ⅠⅠ i canvi d'aigua.	30 planàries Grup ⅠⅠ: 30 planàries	/
21/09/21	-Alimentació durant 3h del Grup ⅠⅠ i canvi d'aigua.	36 planàries Grup ⅠⅠ: 36 planàries	/
26/09/21	-Alimentació durant 3h del Grup ⅠⅠ i canvi d'aigua.	36 planàries Grup ⅠⅠ: 36 planàries	/
30/09/21	-Alimentació durant 3h del Grup ⅠⅠ i canvi d'aigua.	39 planàries Grup ⅠⅠ: 39 planàries	/
5/10/21	-Alimentació durant 3h del Grup ⅠⅠ i canvi d'aigua.	39 planàries Grup ⅠⅠ: 39 planàries	/

Tot i que en aquesta part no havia d'arribar a cap conclusió en especial, el que va ocórrer al principi d'ella va ser important perquè no estava previst. El fet que les planàries del Grup 0 Ⅰ es morissin va ser sorprenent, ja que dies abans estaven molt actives. Sí que és veritat que encara que estiguessin actives una cosa que em va cridar l'atenció va ser que en comptes de moure's per les parets o la base del

crystal·litzador, aquesta vegada ho feien com "flotant" per l'aigua. La hipòtesi que formulo per aquest fet és que potser la gran quantitat de mucosa blanca produïda per les planàries va provocar la seva mort.



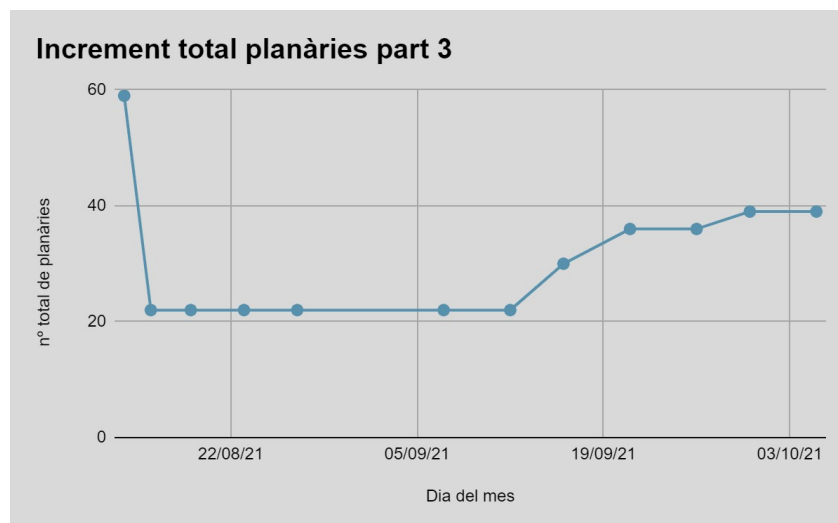
[Fig 48] Planàries del Grup 0 I mortes.

Font: Pròpia



[Fig 49] Planàries del Grup II.

Font: Pròpia



[Fig 50] Gràfic que mostra l'increment del nº de planàries de la part 3

Font: Pròpia

En conclusió d'aquesta fase de transició puc dir que les planàries tenen una alta capacitat de reproducció i es troben en un bon estat de salut físic. Per tant, les condicions són òptimes per continuar l'experiència, ja que els resultats són molt favorables.

10.2.4. Part 4

Aquesta última part comença el 10 d'octubre i acaba el 28 de novembre de 2021. Com la regeneració de les planàries del Grup Γ i el Grup $\Gamma\Gamma$ ha donat resultats positius he pogut realitzar aquesta última regeneració aplicant una variable nova.

Cal destacar que, entre la part 3 i aquesta part, el grup de planàries va augmentar fins a arribar a un total de quaranta-vuit éssers d'estudi. Tal com he dit abans, l'objectiu és estudiar la variable de la llum ultraviolada i per fer-ho la manera més adient i ordenada que vaig trobar va ser dividir en tres grups diferents. El grup $\Gamma\Gamma 0$ correspon al grup control, el grup $\Gamma\Gamma\Gamma$ correspon al conjunt de planàries tallades (per tercera vegada) sense exposar-les a llum ultraviolada i per últim el grup Ω correspon a les planàries tallades (tres vegades) i exposades a llum ultraviolada.

La làmpada de llum ultraviolada que he utilitzat per exposar a les planàries a la llum és el model MD-188C, que té una diferència de potencial de 220-230 V. Tot i que el que m'interessa és veure si la llum ultraviolada afecta a la regeneració de les planàries una vegada han estat tallades, abans de fer això em vaig equivocar i les vaig exposar a la llum abans de tallar-les. Aquesta errada en realitat em va servir per estudiar si hi ha diferències o no entre exposar-les abans de tallar-les o després.

Com en les altres tres parts, he recollit tota la informació en la següent taula:

Dia	Procediment	Recompte Total	Altres
10/10/21	-Alimentació de les 48 planàries. -Divisió en tres grups i canvi d'aigua dels tres grups. -Tallar planàries del grup $\Gamma\Gamma\Gamma$.	48 planàries	•Abans de tallar les planàries del grup Ω , s'exposen a llum ultraviolada durant 6h. •Per garantir que a totes els hi dona la llum de la mateixa manera es va movent la placa de petri.
		Grup $\Gamma\Gamma 0$: 16 planàries	
		Grup $\Gamma\Gamma\Gamma$: 32 trossos (16 planàries)	
		Grup Ω : 32 trossos (16 planàries)	

17/10/21	-Alimentació durant 3h del grup $\Gamma\Gamma 0$ i canvi d'aigua dels tres grups.	100 planàries Grup $\Gamma\Gamma 0$: 16 planàries Grup $\Gamma\Gamma\Gamma$: 44 trossos Grup Ω: 40 trossos	•Les planàries del grup $\Gamma\Gamma\Gamma$ i del grup Ω estan ja totes pràcticament regenerades. •La regeneració del grup Ω ha estat una sorpresa, ja que pensava que la llum les mataria.
24/10/21	-Alimentació durant 3h del grup $\Gamma\Gamma 0$ i canvi d'aigua dels tres grups.	100 planàries Grup $\Gamma\Gamma 0$: 18 planàries Grup $\Gamma\Gamma\Gamma$: 41 planàries Grup Ω: 41 planàries	•Tant les planàries del grup $\Gamma\Gamma\Gamma$ com les del grup Ω s'han regenerat completament. •El pas d'un recipient a l'altre es veu dificultat per la quantitat de mucosa que tenen.
31/10/21	-Alimentació durant 3h del grup $\Gamma\Gamma 0$ i canvi d'aigua dels tres grups.	94 planàries Grup $\Gamma\Gamma 0$: 18 planàries Grup $\Gamma\Gamma\Gamma$: 41 planàries Grup Ω: 35 planàries	•Les planàries del grup Ω presenten una mida molt petita.
7/11/21	-Alimentació durant 3h i canvi d'aigua dels tres grups.	97 planàries Grup $\Gamma\Gamma 0$: 22 planàries Grup $\Gamma\Gamma\Gamma$: 39 planàries Grup Ω: 36 planàries	•Les planàries del grup $\Gamma\Gamma\Gamma$ i del grup Ω presenten una mida molt petita.
9/11/21	-Tallar les planàries del grup Ω i exposar-les a la llum durant 2h.	Grup $\Omega.2$: 70 trossos	•El grup Ω passa a ser $\Omega.2$ (4 vegades tallades).

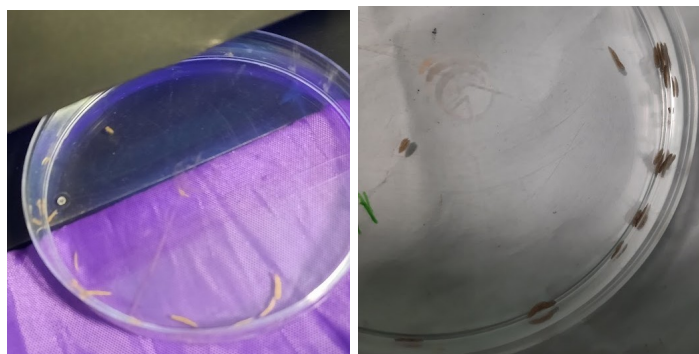
10/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 8h a la llum ultraviolada.	/	/			
11/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 8h a la llum ultraviolada.	/	/			
12/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 3h a la llum ultraviolada.	/	/			
13/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 13h i 30 min a la llum ultraviolada.	/	/			
14/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 7h i 30 min a la llum ultraviolada. -Alimentació durant 3h al grup $\Xi\Xi 0$ i $\Xi\Xi\Xi$ i canvi d'aigua dels tres grups.	112 planàries <table border="1"><tr><td>Grup $\Xi\Xi 0$: 22 planàries</td></tr><tr><td>Grup $\Xi\Xi\Xi$: 40 planàries</td></tr><tr><td>Grup $\Omega.2$: 50 trossos</td></tr></table>	Grup $\Xi\Xi 0$: 22 planàries	Grup $\Xi\Xi\Xi$: 40 planàries	Grup $\Omega.2$: 50 trossos	•Les planàries del grup $\Omega.2$ presenten una mida molt petita i és difícil canviar-les de recipient per això i la gran quantitat de mucosa.
Grup $\Xi\Xi 0$: 22 planàries						
Grup $\Xi\Xi\Xi$: 40 planàries						
Grup $\Omega.2$: 50 trossos						
15/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 8h i 30 min a la llum ultraviolada.	/	/			
16/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 8h i 30 min a la llum ultraviolada.	/	/			
17/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 6h a la llum ultraviolada.	/	/			
18/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 13h a la llum ultraviolada.	/	/			

19/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 18h a la llum ultraviolada.	/	/
21/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 8h a la llum ultraviolada. -Alimentació durant 3h al grup $\Xi\Xi 0$ i $\Xi\Xi\Xi$ i canvi d'aigua dels tres grups.	94 planàries Grup $\Xi\Xi 0$: 24 planàries Grup $\Xi\Xi\Xi$: 36 planàries Grup $\Omega.2$: 34 trossos	•Les planàries del grup $\Omega.2$ presenten una mida molt petita.
22/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 7h i 30 min a la llum ultraviolada.	/	/
23/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 7h i 30 min a la llum ultraviolada.	Grup $\Omega.2$: 30 trossos	•Cada vegada estan més petites i es moren més. •La majoria floten al centre per la mucosa i la resta van a la cantonada
24/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 6h a la llum ultraviolada.	/	/
25/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 6h i 30 min a la llum ultraviolada.	/	/
26/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 6h i 30 min a la llum ultraviolada.	Grup $\Omega.2$: 23 trossos	•Cap planària s'ha regenerat.
27/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 8h a la llum ultraviolada.	/	/

28/11/21	-Exposició del grup $\Omega.2$ durant 8h a la llum ultraviolada.	76 planàries	•Les planàries del grup $\Omega.2$ presenten una mida super petita i no presenten moviment.
		Grup $\Xi\Xi 0$: 25 planàries	
		Grup $\Xi\Xi\Xi$: 36 planàries	
		Grup $\Omega.2$: 15 trossos	

Les observacions obtingudes durant aquesta última part han estat diverses i diferents de les que havia obtingut fins ara. En primer lloc, cal destacar que les revisions i el manteniment de les planàries s'ha reduït a només un cop per setmana. Aquest aclariment ens porta directament a una observació que es va repetir al llarg de l'experiència, ja que en els tres grups la dificultat per passar les planàries d'un recipient a l'altre va ser molt més notable a causa de la gran quantitat de mucosa que presentaven.

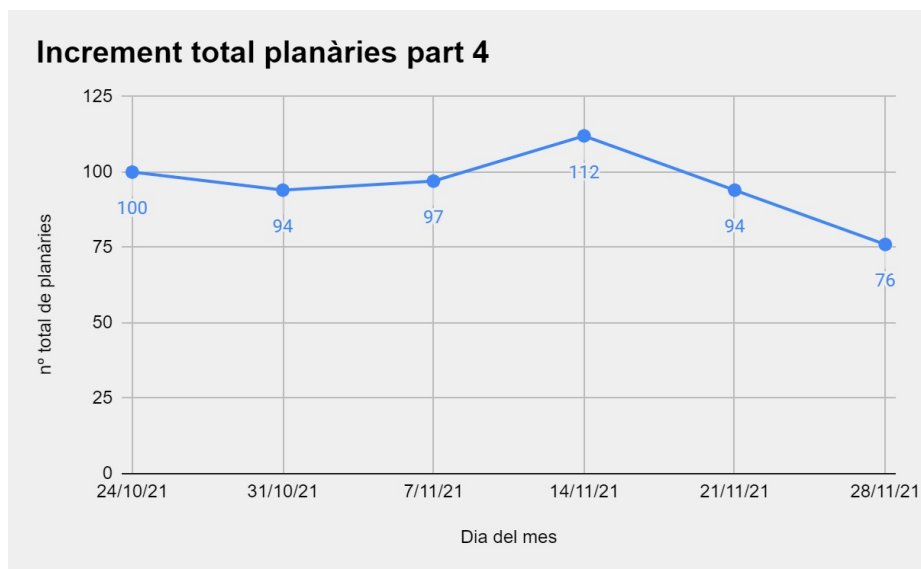
Amb relació a les planàries del grup Ω i $\Omega.2$ he de destacar que al principi amb el grup Ω va ser difícil exposar totes les planàries abans de tallar-les de la mateixa manera a la llum a causa del fet que la làmpada era allargada i la placa de petri rodona. A més a més, com he explicat anteriorment, les planàries en ser sensibles a aquesta llum fugien a la part on no arribava la penetració dels raigs i llavors la meua hipòtesi és que aquest fet explica l'èxit de la ràpida regeneració d'aquest grup. Seguidament, a l'adonar-me de l'error vaig decidir fer-ho al revés de manera que primer vaig tallar i després vaig exposar a la llum.



[Fig 51] Fotografia que mostra les planàries fugint de la llum ultraviolada

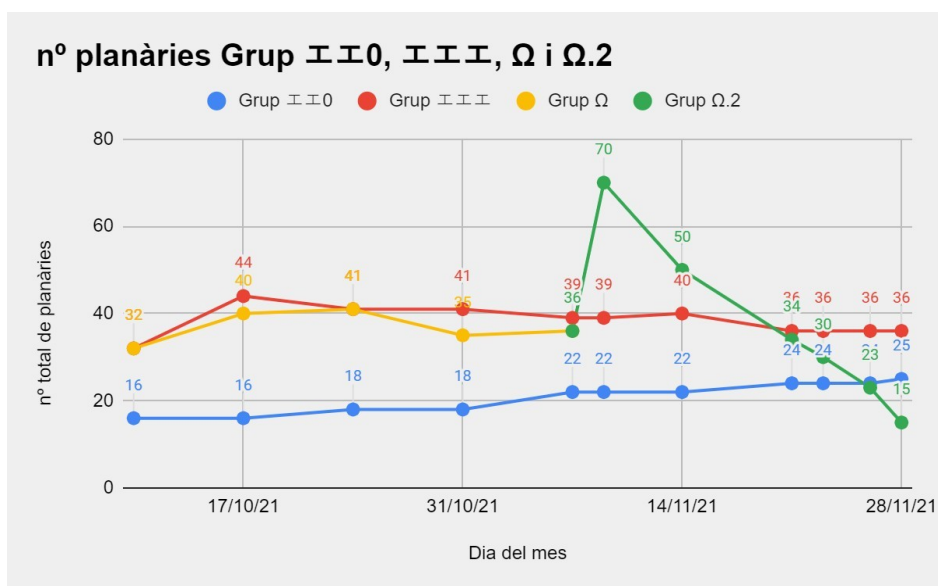
Font: Pròpia

D'aquest grup $\Omega.2$ els resultats han estat els esperats i plantejats en un principi i la quantitat de planàries, com podem veure en els gràfics següents, ha anat disminuint progressivament perquè la llum impedia la seva regeneració.



[Fig 52] Gràfic que mostra l'increment del nº de planàries de la part 4

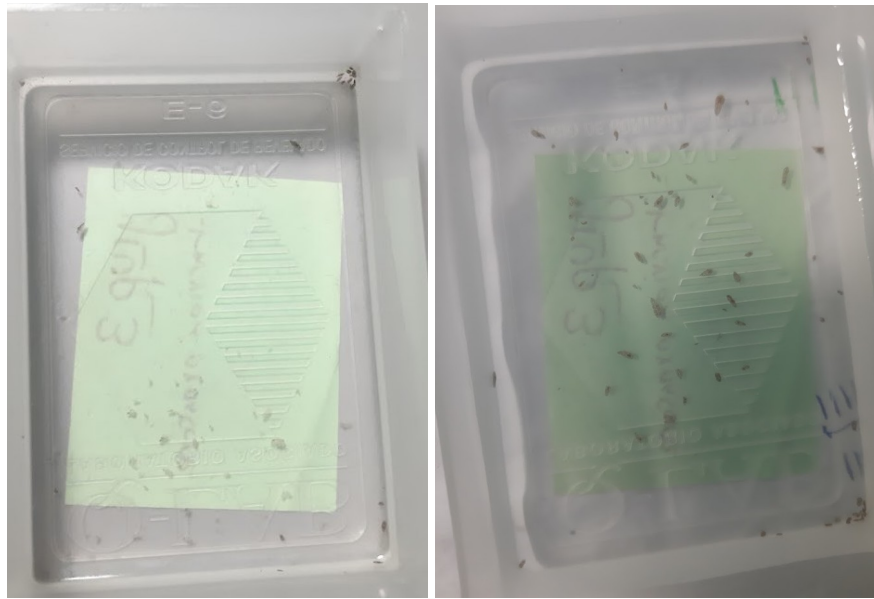
Font: Pròpia



[Fig 53] Gràfic que mostra la comparació del nº de planàries dels quatre

grups Font: Pròpia

Tanmateix, no es van morir a la setmana sinó que al principi estaven molt actives i anaven a les cantonades, però a poc a poc es van anant acumulant al centre i disminuint la seva mida fins a morir.



[Fig 54] Comparació mida planàries grup $\Omega.2$ al principi i final de la part 4
Font: Pròpia

Per últim, vull mencionar que durant la part 4 vaig agafar una de les planàries del grup Ω i la vaig tornar a tallar, però aquesta vegada en comptes de fer-ho en dues parts, només seccionar una mica en el cap de manera que en puguin regenerar dos. Com podem veure en la fotografia adjuntada a continuació, l'experiment va sortir exitós i en podem veure els dos caps que surten de la cua.



[Fig 55] Planària regenerada amb dos caps
Font: Pròpia

11. CONCLUSIONS

Una vegada finalitzada la part pràctica és hora de fer una visió global als **dels** resultats obtinguts en les diferents experiències i parts de cadascuna d'elles. Per fer-ho m'he de fixar en el problema i els objectius plantejats al començament de la part pràctica i també refutar o verificar la hipòtesi principal.

Definitivament, podem verificar la hipòtesi inicial sobre que la llum ultraviolada afecta a les planàries de manera que evita la seva regeneració i les condueix a la posterior mort, ja que els resultats de la part 4 de l'experiència 2 així ho demostren. No obstant això, cal destacar que el procediment perquè això es compleixi ha de ser exposant les planàries a la llum ultraviolada després de tallar les planàries i no a la inversa. Quan vaig exposar les planàries del grup Ω a llum ultraviolada abans de tallar-les, el resultat no va ser l'esperat, ja que al cap de poc menys de dues setmanes totes les planàries presentaven la seva respectiva cua i el seu respectiu cap. Aquesta errada accidental que vaig cometre m'ha permès establir aquesta crucial diferència respecte a la irradiació de la llum perquè si no l'hagués fet, hauria interpretat que la pausa de la regeneració es dona sempre i llavors les conclusions no serien fiables.

Respecte als objectius també puc dir que els he complert tots com tenia previst, ja que he pogut estudiar el comportament de les planàries de manera general i prendre notes de les seves característiques així com comparar i establir diferències per exemple entre el temps que triguen a créixer les planàries tallades i les no tallades. A més a més he confirmat que el primer entorn on vaig tenir les planàries no va ser favorable pel seu desenvolupament, però que pel contrari el segon si ho ha sigut.

Aquest projecte m'ha servit i he gaudit molt amb ell perquè he pogut observar el procés de regeneració cel·lular d'aquests organismes i he superat les meves pròpies expectatives, ja que no pensava que seria capaç de mantenir vives les planàries durant tant de temps ni obtenir resultats tan bons com els que he obtingut.

12. AGRAÏMENTS

Per finalitzar, m'agradaria agrair a totes aquelles persones que de manera directa i indirectament han participat en el meu treball i m'han ajudat a realitzar-lo i fer-lo possible.

En primer lloc, vull agrair a la meva tutora del treball de recerca, Maite Garcia, per la seva orientació i preocupació constant, ja que gràcies a ella vaig poder acabar de decidir el tema i orientar la temàtica de la part pràctica. A més a més, també em va ajudar proporcionant-me el material necessari del laboratori de biologia i em va ajudar a aconseguir les planàries.

També m'agradaria agrair a la tècnica de laboratori de la cambra de cria del centre de recursos pedagògics específics de suport a la innovació i la recerca educativa (CESIRE) per proporcionar-me les planàries i la informació necessària per mantenir-les. En addició també agraeixo al departament de biologia del meu institut per deixar-me anar durant l'estiu a realitzar seguiments per la part pràctica i també a la professora Carolina Saniger per deixar-me la seva llum ultraviolada durant dos mesos, ja que sense ella no hagués pogut estudiar aquesta variable.

Per últim, també vull agrair especialment a la meva mare per ajudar-me a mantenir les planàries vives durant tota l'experiència i en general a tota la meva família i als meus amics per ajudar-me i suportar-me de manera psicològica durant tot el difícil camí, sobretot durant la part pràctica.

13. BIBLIOGRAFIA

- IÑÉZ, Enrique. *Clonación y manipulación de embriones humanos* [en línea]. <<https://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/Clonacion.html>> [Consulta: 18/04/21]
- YANES, Javier. *Clonación* [en línea]. 20 minutos. 28 de gener de 2018. <<https://blogs.20minutos.es/ciencias-mixtas/tag/clonacion/>> [Consulta: 18/04/21]
- RODRÍGUEZ, Rubén. *La planaria, el gusano inmortal: regenera los órganos que pierde y no envejece* [en línea]. El confidencial. 19 de febrer de 2021. <https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2021-02-19/planaria-gusano-inmortal-regenera-organos-envejece-telomeros_2946867/> [Consulta: 18/04/21]
- *Lab Planarian Barcelona* [en línea]. <<http://www.ub.edu/planariabcn/>> [Consulta: 18/04/21]
- FERNÁNDEZ, Enrique. *Aproximación proteómica al estudio molecular de las células madre de la planaria, los neoblastos*. Dialnet. 2008. <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=254706>> [Consulta: 18/04/21]
- E BOHR, Tisha. *Planarian stem cells sense the identity of the missing pharynx to launch its targeted regeneration* [en línea]. eLife 22 de juny 2021. <<https://elifesciences.org/articles/68830>> [Consulta: 15/08/21]
- ME, Arias. *Biología de las células madre embrionarias (ES cells) en distintas especies: potenciales aplicaciones en biomedicina*. Scielo. 2009. <www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2009000300002> [Consulta: 27/08/21]
- *Celulas madre qué son y qué hacen* [en línea]. Mayo clinic 8 de juny de 2019. <<https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/bone-marrow-transplant/in-depth/stem-cells/art-20048117>> [Consulta: 30/08/21]
- LA TORRE, Anna. *Què són les cèl·lules mare?* [en línea]. The niche. Actualitzat 2021 <<https://ipsell.com/que-son-les-cel%C2%B7lules-mare/>> [Consulta: 1/09/21]
- TORRADA, Sandra. *La investigación con células madre* [en línea]. Elsevier. Març 2003. <<https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-la-investigacion-con-celulas-madre-13044455>> [Consulta: 1/09/21]
- GONZÁLEZ, Cayetano. *División celular asimétrica en el desarrollo animal* [en línea]. Investigación y ciencia. <<https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/nacido-del-caos-674/divisin-celular-asimtrica-en-el-desarrollo-animal-14307>> [Consulta: 1/09/21]

- BODINE, David. *Célula madre* [en línia]. National Human Genome Research Institute.
<<https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Celula-madre>> [Consulta: 1/09/21]
- *What are stem cells?*. Nature Reports Stem cells. 2007.
<<https://www.nature.com/articles/stemcells.2007.12>> [Consulta: 1/09/21]
- *What are the different types of stem cells?*. Biosummary. 28 de novembre de 2015.
<<http://www.biosummary.com/types-of-stem-cells/>> [Consulta: 2/09/21]
- HILDRETH, Cade. *Do You Know The 5 Types Of Stem Cells?* [en línia]. Bioinformant. Septiembre de 2021.
<<https://bioinformant.com/do-you-know-the-5-types-of-stem-cells-by-differentiation-potential/>> [Consulta: 3/09/21]
- F. PERA, Martin. <<*Human Embryonic stem Cells*>>. 9 de desembre de 1999.
<<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.916.5358&rep=rep1&type=pdf>> [Consulta: 10/09/21]
- *Types of Stem cells*. University of Nebraska Medical Center.
<<https://www.unmc.edu/stemcells/educational-resources/types.html>> [Consulta: 12/09/21]
- *Induced Pluripotent Stem Cells (iPS)*. UCLA Broad stem cell research center.
<<https://stemcell.ucla.edu/induced-pluripotent-stem-cells>> [Consulta: 12/09/21]
- *La FDA advierte sobre las terapias con células madre*. Food and drug administration.
<<https://www.fda.gov/consumers/articulos-en-espanol/la-fda-advierte-sobre-las-terapias-con-celulas-madre>> [Consulta: 16/09/21]
- BAGUÑÀ, Jaume. <<*Les Planàries d'aigües dolces a Catalunya i les illes Balears*>>. Clau sistemàtica i distribució geogràfica.
<<https://www.raco.cat/index.php/ButlletilCHN/article/download/17433/315034/>> [Consulta: 26/10/21]
- TORRES, Miguel. *La magia es imaginarse el experimento y ejecutarlo* [en línia]. CNIC. 29 de maig de 2020.
<<https://www.cnic.es/es/noticias/alejandro-sanchez-alvarado-magia-imaginarse-experimento-ejecutarlo>> [Consulta: 17/11/21]
- SHETTIGAR, Nishan. *Hierarchies in light sensing and dynamic interactions between ocular and extraocular sensory networks in a flatworm*. Science advances. 2017.
<<https://www.vistaalmar.es/ciencia-tecnologia/biologia/6766-gusanos-planaria-puede-n-ver-incluso-despues-son-decapitados.html>> [Consulta: 23/11/21]

