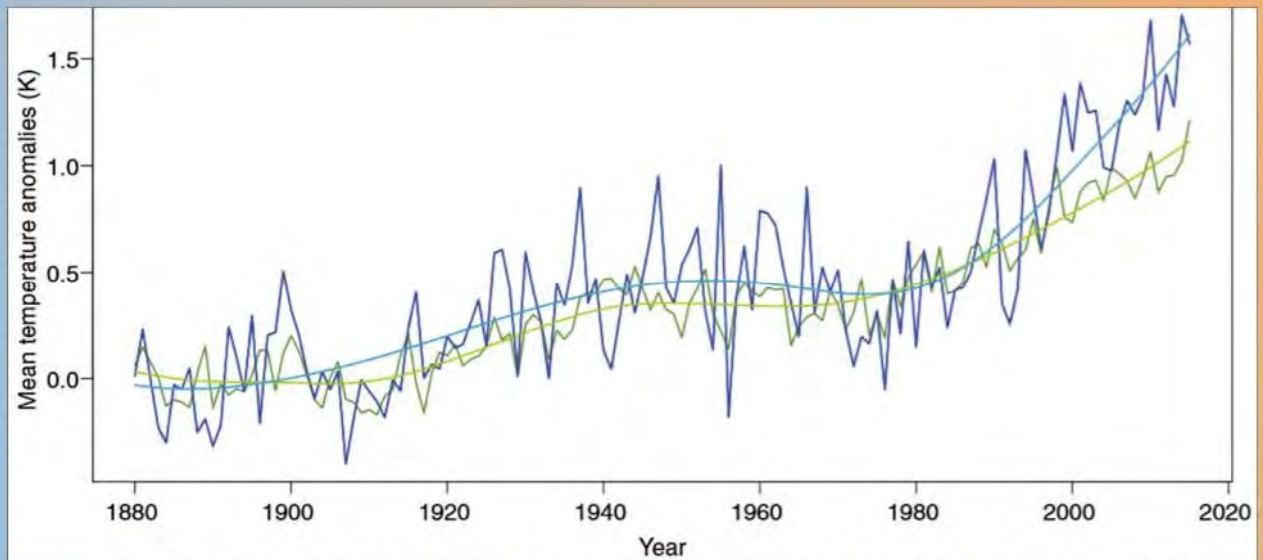


EFFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC EN EL CICLE VITAL DE *Testudo hermanni*



TREBALL DE RECERCA
MIREIA CRUZ FERNÁNDEZ
TUTOR: JOSEP MARÍ TORRES
NOVEMBRE 2019

ÍNDIX

Abstract	5
Resum	5
Pròleg i Objectius	7
1. Introducció i antecedents	9
1.1 Cicle vital de la tortuga mediterrània (incubació i hibernació)	9
1.2 Exemplars de <i>Testudo hermanni</i> a l'escola i instal·lacions (antecedents)	10
1.3 Hibernació de la tortuga mediterrània a l'escola (antecedents)	11
1.4 Incubació de la tortuga mediterrània a l'escola (antecedents)	11
1.5 Canvi climàtic i recull de dades a l'escola (estació meteorològica)	13
2. Canvi climàtic	17
2.1 Projeccions per al clima generals	17
2.2 Projeccions per al clima a la zona de la costa mediterrània	19
2.2.1 Onades de fred i calor	20
3. Canvis en les condicions climàtiques importants per al cicle vital de <i>Testudo hermanni</i>	21
4. Hibernació	23
4.2 Mètode d'hibernació de les tortugues a l'escola	25
4.2.1 Tortugues grans	25
4.3 Controls de pes durant el període d'hibernació	27
4.3.1 Variacions de pes en tortugues juvenils (hibernació de 2018/2019)	28
4.4 Dades històriques de temperatura i precipitació (durant l'hivern)	30
4.5 Dades històriques dels períodes d'hibernació	32
4.6 Anàlisi de dades	33
5. Postes i incubació	35
5.1 Condicions necessàries per a la posta d'ous en <i>Testudo hermanni</i>	35
5.2 Zona de postes	35
5.2.1 Incubació al pati	37
5.2 Naixements i malformacions	40
6. Conclusions	41
7. Bibliografia	43
Annex fotocronològic	47

Abstract

In this study, we analysed the effects of climate change on the Mediterranean climate, especially in the area that surrounds this sea's basin, with the purpose of learning how it will affect Hermann's tortoise (*Testudo hermanni*) and its survival rates, as well as the possible adaptation to a new climate that this species may exhibit. To do so, we first studied the local effect of climate change on the specific area that Hermann's tortoise inhabits, using previously published data from scientific articles such as the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Special Report. This was followed by a study of the two aspects of the tortoise's annual cycle which we considered to be more directly influenced by climatic variables (hibernation and incubation), as well as a comparison of the temperature and precipitation data collected by our centre's weather station during the last 13 years, with the predictions for changes of these variables in our climate. The analysis on the hibernation and incubation of *Testudo hermanni* was done using the data collected in the last 13 years through other case studies, conducted by students of the same centre on the three tortoises that currently live in the tortoise's courtyard (Pati de les tortugues).

The results show that there has been a significant change in the temperature and precipitation of regions with a Mediterranean climate in the last 40 years, a tendency which is expected to continue in the near future. These changes represent a decline in Hermann's tortoise's survival rates, and could force certain changes in its annual cycle, like the shortening of its hibernation period. These changes, however, may prove to also be an opportunity to incubate their eggs in the courtyard, as the temperature conditions needed will be improved by climate change.

Resum

En aquest treball hem analitzat l'efecte del canvi climàtic en el clima mediterrani, en especial a l'àrea de la conca d'aquest mar, amb l'objectiu de veure el seu efecte en la tortuga mediterrània (*Testudo hermanni*) i la seva taxa de supervivència, així com les possibles adaptacions a un canvi de clima que aquesta espècie podria adoptar. Per dur-ho a terme, hem estudiat l'efecte local del canvi climàtic en l'hàbitat de la tortuga mediterrània, utilitzant informació publicada en articles científics com els de l'IPCC (Panel Intergovernamental del Canvi Climàtic). A més, hem fet un estudi de les dues etapes del seu cicle vital que vam considerar més influenciades per variables mediambientals (hibernació i incubació), a més d'una posada en comú entre les dades de temperatura i precipitació recollides per l'estació meteorològica del centre durant els últims 13 anys i les prediccions pels canvis en aquestes variables en el nostre clima. L'estudi de la hibernació i la incubació de la tortuga mediterrània s'ha dut a terme gràcies a les dades dels últims 13 anys que han aportat altres treballs de recerca, fets per estudiants del mateix centre amb les tortugues que viuen al Pati de les Tortugues.

Els resultats indiquen que hi ha hagut un canvi significatiu en la temperatura i la precipitació de regions amb clima mediterrani els últims 40 anys, una tendència que s'espera que continuï en un futur. Aquestes alteracions presenten una reducció en la taxa de supervivència de la tortuga mediterrània i podrien causar canvis en el seu cicle vital, com l'escurçament del període d'hibernació. Tanmateix, aquests canvis també representen una oportunitat per incubar els ous de les postes al Pati de les Tortugues, atès que les condicions de temperatura necessàries podrien esdevenir assequibles.

Pròleg i Objectius

A l'escola ja fa uns anys que es du a terme el Projecte del Pati de les Tortugues, que ha permès a molts alumnes aportar informació sobre la biologia de la tortuga mediterrània (*Testudo hermanni*) mitjançant els seus treballs de recerca. En especial s'estudia el seu període d'hibernació i incubació i les estratègies que s'utilitzen al centre per assegurar el correcte desenvolupament d'aquestes etapes. L'escola participa, a més, en el "Programa de cria en captivitat de la tortuga mediterrània", organitzat pel CRARC (Centre de Recuperació d'Amfibis i Rèptils de Catalunya) que té l'objectiu d'introduir aquests individus en ambients naturals, atès que la tortuga mediterrània és una espècie protegida en perill d'extinció. És per això que l'any 2003-2004 es van introduir quatre exemplars (tres femelles i un mascle) a l'espai del pati tot i que avui dia només n'hi ha tres (la femella més gran va morir). Els primers ous es van trobar l'any 2006-2007 però aquests no van descloure a causa d'una temperatura insuficient al sòl del pati, i és per això que, des d'aquell any, s'utilitzen incubadores per assegurar l'eclosió dels ous que es recullen de les postes de les femelles. Aquestes incubadores estan configurades a una temperatura generalment òptima per a la cria de femelles (el sexe de les tortugues mediterrànies ve determinat per la temperatura dels ous durant la incubació), encara que això comporti un major risc de malformacions, perquè un major nombre de femelles de *Testudo hermanni* a la natura permet una major proliferació d'aquesta espècie. Els exemplars juvenils viuen a l'escola durant aproximadament un any i duen a terme la hibernació durant el seu primer hivern i són lliurats al CRARC l'estiu següent.

Totes les dades recollides al llarg dels anys han permès augmentar el coneixement sobre la tortuga mediterrània, així com la publicació d'un article científic centrat en les variacions de pes durant el procés d'hibernació d'aquesta espècie, i una altra sobre osteocronologia (l'esmentada tortuga morta). També han permès descobrir la relació entre aquesta pèrdua de pes i la humitat de l'ambient en què es troben les tortugues, sobretot en els exemplars juvenils, que podria estar encarada a una futura publicació. L'objectiu del meu treball és utilitzar totes aquestes dades recollides, junt amb les d'aquest any, per estudiar l'efecte del canvi climàtic en la tortuga mediterrània i al Pati de les tortugues de l'escola, sobretot amb relació a el període d'hibernació i el d'incubació. La primera etapa està directament relacionada amb la temperatura de l'ambient on es troben les tortugues (hibernen quan la mitjana diària és inferior a 15°C però també es veu afectada per altres factors com la humitat de l'aire i, per tant, l'augment de la temperatura hi repercuteix de ple). D'altra banda, al llarg dels anys s'han anat fent reformes a la zona de postes del pati (les més recents amb els treballs de l'any passat) de manera que les femelles tendeixen a pondre ous en el lateral que disposa d'inclinació i que rep més radiació solar. És per això que un altre dels objectius del treball és estudiar la temperatura del sòl d'aquesta zona per determinar si seria possible dur a terme la incubació d'una posta d'ous al pati aquest any o en anys posteriors, si aquesta és en el lloc adequat. Un últim objectiu és utilitzar les conclusions de l'estudi fet durant el treball per preveure els efectes del canvi climàtic en la tortuga mediterrània en un futur i possibles adaptacions que es podrien dur a terme a l'escola.

1. Introducció i antecedents

1.1 Cicle vital de la tortuga mediterrània (incubació i hibernació)

La tortuga mediterrània és un rèptil pertanyent al grup dels quelonis i, com a tal, un animal poiquiloterm. Aquest terme fa referència a tots aquells organismes que no són capaços de regular la seva pròpia temperatura corporal mitjançant processos metabòlics, sinó que ho fan a través del medi, adaptant el seu comportament. Són, per tant, animals ectotèrmics, i el seu cicle vital depèn de l'ambient en què es troben i de la seva consegüent adaptació. La tortuga mediterrània és un rèptil actiu entre els mesos de març i octubre (Figura 1), en què la temperatura ambient supera els 15°C. Durant aquests mesos manté una temperatura corporal elevada i constant (fins a 30°C) durant les hores centrals del dia mitjançant l'exposició directa de manera intermitent al Sol (de fet necessita un mínim de 2500 hores de sol a l'any). En canvi, durant els mesos de novembre, desembre, gener i febrer, en què generalment la temperatura mitjana és menor de 15°C, la tortuga hiberna. Com que no pot adquirir una temperatura corporal mínimament necessària per dur a terme les funcions vitals, entra en un estat de letargia en què s'alenteixen les funcions metabòliques i disminueixen les constants vitals i la temperatura corporal, que arriba a ser de tan sols uns 4 o 5°C (Pursall, 2006). Això permet que l'organisme es mantingui viu durant un període de condicions adverses, utilitzant només l'energia de les reserves de greix i glúcids que han acumulat durant els mesos més càlids. De fet, la pèrdua de pes més important és per deshidratació, com veurem més endavant.



Figura 1. distribució temporal de les diferents etapes del cicle vital d'una tortuga mediterrània adulta al llarg de tot un any. Els valors temporals són extrets del CRARC (Soler, 2011)

Un cop acabada la hibernació les tortugues entren en l'època de reproducció (entre març i maig) i ponen ous entre l'abril i el juny. Aquests passen per un període d'incubació que dura al voltant de deu setmanes al final del qual, si la temperatura a què han estat exposats era d'entre 26° i 33°C, naixeran les noves tortugues. El sexe d'aquestes depèn de la temperatura en què han estat incubats els ous: si aquesta és propera als 32,2° és molt probable que siguin femelles, mentre que una exposició a una temperatura més baixa augmenta la probabilitat que siguin mascles (Soler i Martínez, 2005; Vetter, 2006; Soler, 2008a).

La supervivència d'espècies com els quelonis, amb una elevada esperança de vida, depèn en gran part de la supervivència dels exemplars adults, atès que aquests es veuen menys influenciats per canvis en el medi (com canvis meteorològics) i, per tant, tendeix a ser alta i invariable. En canvi, la supervivència dels exemplars juvenils és molt menor i influenciada pel clima. De fet, en el cas de la tortuga mediterrània, està directament relacionada amb la quantitat i la freqüència de pluges durant l'hivern (vegeu l'apartat 2.2.2). Tot i això, no està clar que aquesta subsistència sigui útil quan l'espècie s'encara a canvis

permanents o de llarga durada (com el canvi climàtic) (Fernández-Chacón, 2011). Com bé hem pogut comprovar a l'escola, períodes de "sequera" durant l'hivern augmenten la pèrdua de pes durant la hibernació, sobretot en exemplars juvenils. Per tant la supervivència de *Testudo hermanni* no es veu tan afectada per l'augment de temperatura en si, com pels períodes de sequera durant l'hivern que en poden resultar.

1.2 Exemplars de *Testudo hermanni* a l'escola i instal·lacions (antecedents)

Actualment a l'escola disposem d'una unitat reproductora de tortuga mediterrània consistent en dues femelles (una més gran en mida i edat que l'altra) i un mascle, que es troben de forma permanent al Pati de les tortugues. Aquest té una superfície aproximada de 100m² i està envoltat per quatre parets d'entre un i dos pisos d'altura, però dona al cel obert, de manera que hi arriba radiació solar directa una part de l'any (Marina Castellanos, 2018). Disposa d'una àrea de vegetació semiprotegida de major alçada que la resta del terreny on les tortugues només poden accedir quan s'obra una comporta (això ens permet deixar créixer les plantes que trasplantem abans que se les mengin), un estany amb una àrea de poca profunditat perquè les tortugues hi puguin accedir lliurement per beure, i un terrari protegit amb una malla electrosoldada. Aquest és on hibernen les tortugues grans i és on estan els exemplars juvenils, que hivernen en un altre indret, un cop es desperten de la hibernació fins i que els lliurem al CRARC (vegeu Annex Fotocronològic del dia 4/07/2019). Al laboratori de biologia es troben les dues incubadores, connectades al corrent elèctric a través d'un SAI per assegurar que el seu funcionament és continu fins i tot si salta la llum a causa d'alguna tempesta durant l'estiu (aquesta mesura de seguretat es va aplicar després que l'any 2016 els ous de les dues primeres postes no nasquessin per aquesta mateixa raó i ha sigut útil també aquest any, vegeu Annex Fotocronològic del dia 27/08/2019). També disposem d'un petit terrari previst de llums fluorescents amb el percentatge adient de radiació ultraviolada i un rellotge temporitzador per adaptar-lo a les hores de llum (Ferran Jiménez, 2016).

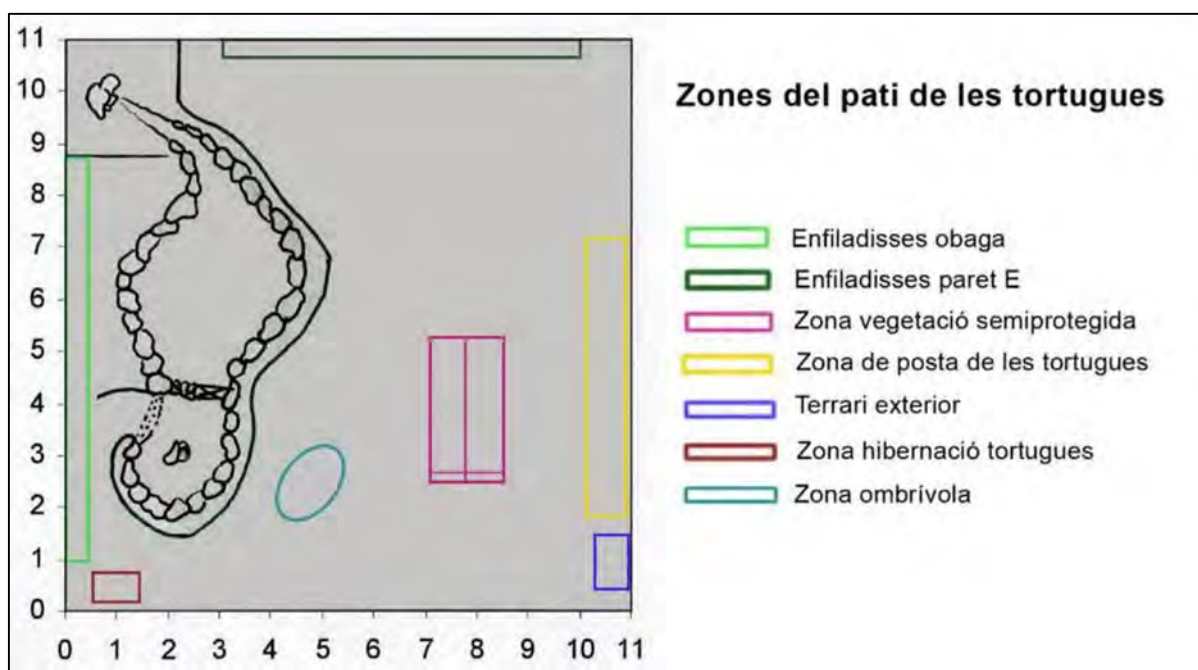


Figura 2. Representació a escala de les zones biològicament més importants del pati de les tortugues. (Figura extreta de Marina Castellanos, 2018).

1.3 Hibernació de la tortuga mediterrània a l'escola (antecedents)

La hibernació de la tortuga mediterrània i tots els aspectes relacionats amb aquesta ha estat un dels temes més estudiats en els treballs de recerca relacionats amb el projecte del Pati de les tortugues. Els estudis van començar amb l'observació i monitoratge de la hibernació de les tortugues adultes, que en un principi hibernaven en unes caixes semi enterrades amb reixa de metall. Les mesures de pes periòdiques durant aquest període i la seva anàlisi van permetre observar que, tot i que entre el començament i el final de la hibernació les tortugues perdien al voltant d'un 5% del seu pes (un valor considerat normal i segur), el ritme d'aquesta pèrdua no era constant: existien períodes en què la pèrdua de pes es feia molt més evident, però el que va sorprendre més va ser que en altres períodes (normalment després de pluges, quan la humitat ambiental és més alta) la pèrdua s'alentia fins al punt que les tortugues podien arribar a recuperar pes. Aquest fenomen es va seguir estudiant en altres treballs, que el van relacionar amb una capacitat de les tortugues adultes d'absorbir l'aigua del seu ambient quan la humitat relativa és alta, raó per la qual es va concloure que la major part del pes que perden durant la hibernació prové de la deshidratació i el consum d'aigua metabòlica (Eduald Pascual, 2008). Aquest descobriment, no descrit prèviament en cap article, va donar lloc a una publicació científica (Pascual *et al.* 2011).

Pel que fa a la hibernació dels exemplars juvenils, un dels primers estudis es va centrar a saber si era millor fer-los hibernar durant el seu primer any de vida o si el risc de mort disminuïa si es feien hibernar de més grans. Aquests estudis (Alba Ramon, 2010) van concloure que la hibernació més perillosa no és la que es du a terme durant el primer hivern de les tortugues, sinó la primera hibernació que duen a terme en general. Des d'aquell any fem hibernar totes les tortugues (adultes i juvenils) cada hivern amb l'excepció d'aquelles que tenen alguna mutació que els comporta un risc de mort més gran. El mateix descobriment que es va fer amb les tortugues grans es va observar amb els exemplars juvenils, i després de fer-les hibernar tres anys amb condicions d'humitat diferents i analitzant les dades de pes corresponents, es va concloure que igual que les grans, la pèrdua de pes es deu majoritàriament a la deshidratació. Ara els exemplars juvenils hibernen en una caixa amb reixa metàl·lica en una zona protegida de la precipitació directa, que mullem de manera regular per mantenir la humitat alta i evitar que perdin massa pes per deshidratació (atès que el % de pèrdua de pes per les petites durant la hibernació és més gran que en els exemplars adults i ronda el 10% de mitjana).

1.4 Incubació de la tortuga mediterrània a l'escola (antecedents)

Com hem dit abans, just després de despertar de la hibernació, les tortugues entren en època d'aparellament i comencen a pondre ous a l'abril. La primera posta registrada a l'escola va ser de l'any 2007 (Laia Herrerias) però els ous no van descloure a causa d'una insuficiència en la temperatura del pati, raó per la qual des de llavors hem optat per incubar els ous de manera artificial en incubadores al laboratori de biologia. Això es va fer per primer cop amb les postes de l'any següent, utilitzant una incubadora construïda a l'escola seguint les instruccions del CRARC, que utilitzava un circuit tancat d'evaporació i condensació d'aigua. Tot i que els resultats van ser satisfactoris, la humitat ambiental era massa elevada, fet que pot afectar els ous i, per tant, l'eficiència reproductora del centre. L'any següent es va optar per una incubadora de calefacció per aire (model Jaegger) que permetia un control més precís de la humitat i la temperatura (Èlia Faixó, 2005). Aquestes incubadores van donar bons resultats pel que fa a nombre de naixements però encara donaven problemes del control d'humitat relativa. Es van utilitzar fins al 2017, any en què es va fer un estudi comparatiu de 3 sistemes d'incubadores (Arnau Ruiz, 2017) i es van canviar les Jaegger per les del model Reptibator perquè no presenten tants problemes de condensació. Aquest any, com l'anterior (Sofia Domènech, 2018), hem utilitzat aquestes incubadores, una d'elles amb una temperatura constant de 32,2°C (optimitzada per obtenir femelles) i l'altra a 31,5°C i ambdues amb una humitat relativa del 80%.

El mètode per detectar les postes i traslladar els ous a les incubadores d'enguany ha estat el mateix que en tots els anteriors. Si les postes tenen lloc entre setmana és fàcil localitzar el cau, atès que les tortugues triguen una estona llarga (diverses hores) a fer-lo i a pondre els ous i, per tant, sempre hi ha algú que ho veu. Tanmateix, si la posta té lloc durant els caps de setmana, ens guiem per les mesures de pes de les femelles (i les del mascle, que serveixen de control) dels divendres i els dilluns, de tal manera que si hi veiem una baixada considerable que no és corroborada pel mascle, és possible que hi hagi hagut una posta. Un cop trobat el niu, traiem el sauló i la terra de sobre els ous i aquests es marquen per la zona de dalt per poder-los tenir sempre en la mateixa posició (i evitar que l'embrió s'asfixii). Posteriorment es traslladen a les incubadores, on estaran fins a l'eclosió (vegeu Annex Fotocronològic del dia 31/05/2019).

L'any passat es van dur a terme dos projectes nous amb relació a les postes i la incubació. Per una banda, es va voler comprovar si el fet d'aportar una petita inclinació al substrat (sauló) de la zona d'incubació facilitava el treball de fer un forat i pondre els ous (s'havia observat prèviament que s'enfilaven sobre les roques que separen la zona de la porta d'entrada al menjador). Seguint aquesta hipòtesi l'any passat se li va proporcionar una d'entre 15 i 20° i els resultats van ser molt satisfactoris (Sofia Domènech, 2018).

Per una altra banda, es va enregistrar, durant l'estiu, la temperatura dins d'un niu de la zona que rebia més radiació solar directa per determinar si seria possible dur a terme una incubació natural al pati en els anys posteriors (Figura 3).



Figura 3. Col·locació del datalogger Escort dins del forat de la segona posta de la femella gran per tal d'enregistrar la temperatura a l'interior d'un niu a la zona de postes al Pati de les tortugues. (Figura extreta de Sofia Domènech, 2018.)

Com es pot observar al gràfic, tot i que la mitjana de temperatura durant els mesos en què va ser enregistrada va ser de 25°C (insuficient), durant un període calorós de finals de juliol i principis d'agost els màxims van arribar als 32°C i la mitjana en aquest curt període va ser 29°C. Per aquesta raó es va pensar que, sempre que el niu estigués situat a la zona oest del pati, es podria considerar la possibilitat de deixar-hi la posta per incubar-la.

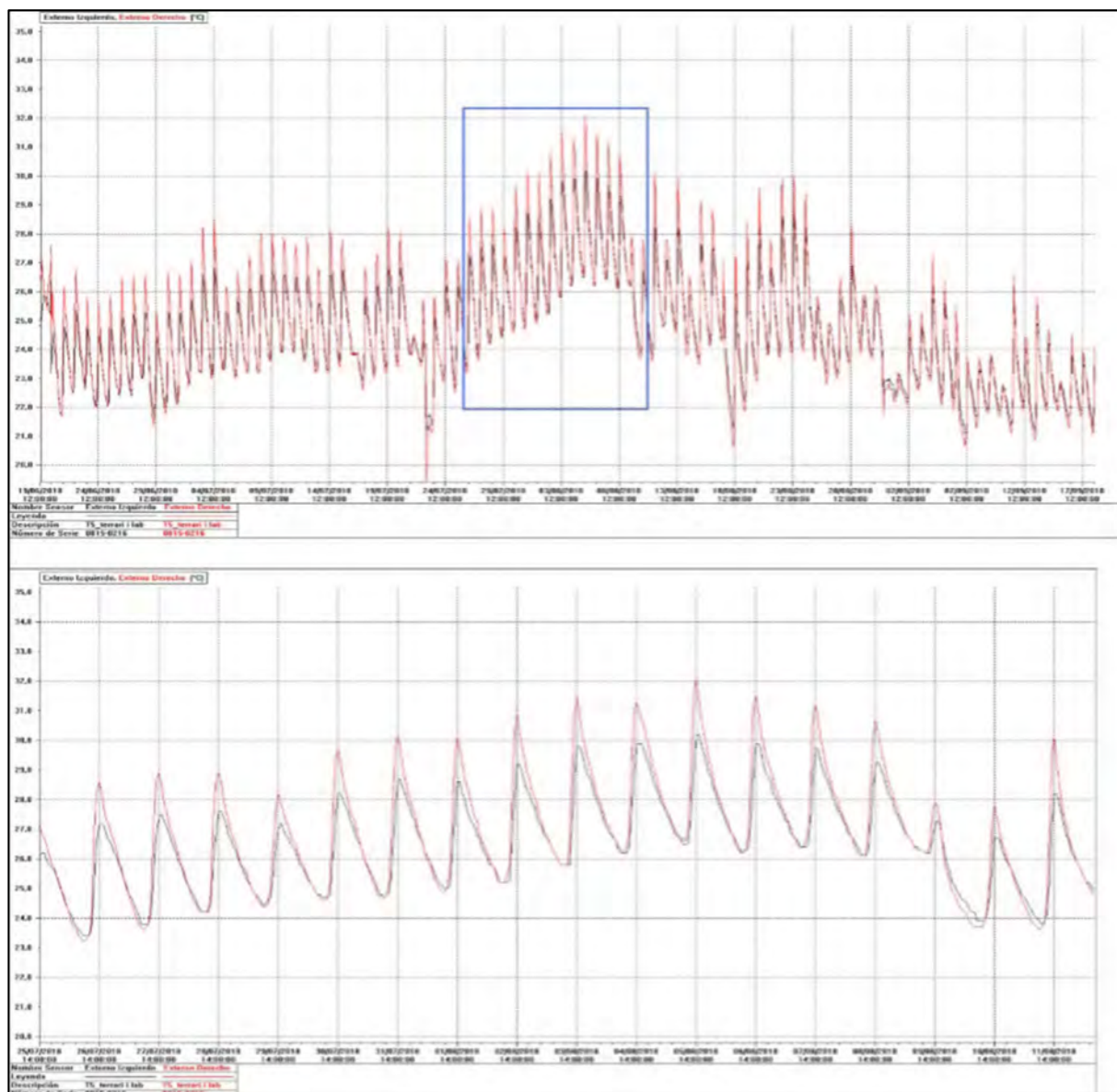


Figura 4. Registre continuat de la temperatura d'incubació teòrica a l'interior d'un niu a la zona de postes del Pati de les tortugues, a dos nivells de profunditat (la línia negra representa la sonda a nivell dels ous trobats a més profunditat; la vermella, a la posició de la sonda dels més superficials). La gràfica superior indica tot el període enregistrat (4 mesos), la inferior una ampliació de la zona marcada. (Figura extreta de Sofia Domènech, 2018)

1.5 Canvi climàtic i recull de dades a l'escola (estació meteorològica)

Per poder estudiar la resposta d'una espècie al canvi climàtic, no només cal conèixer les variables mediambientals que afecten el correcte desenvolupament dels organismes i la supervivència de l'espècie (directament i indirectament), sinó també com afecta el canvi climàtic al clima del seu hàbitat en especial.

El concepte “canvi climàtic” fa referència als canvis significatius a llarg termini del clima global del planeta, que es pot definir com el sistema que engloba les condicions atmosfèriques i ambientals que formen part de les diferents regions del planeta. Per tant, els diferents climes que trobem arreu del món estan connectats i s'influeixen els uns als altres.

El canvi climàtic actual es manifesta majoritàriament mitjançant l'escalfament global, un fenomen que generalment s'atribueix a un augment de l'efecte hivernacle causat per l'activitat humana. Aproximadament la meitat de la llum que arriba a la Terra traspasa l'atmosfera i arriba a la superfície, on

és absorbida i posteriorment irradiada cap a l'exterior en forma de calor. Un 90% d'aquesta energia és captada pels gasos d'efecte hivernacle (vapor d'aigua, diòxid de carboni, òxid de nitrogen, metà i clorofluorocarburs entre d'altres) i torna a la superfície, fet que augmenta la temperatura fins a uns 15°C de mitjana i permet que la vida a la Terra subsisteixi. Aquells gasos que no reaccionen físicament o químicament als canvis en temperatura de l'atmosfera, però que contribueixen a l'efecte hivernacle són descrits com aquells que forcen l'escalfament climàtic, mentre que els que sí que reaccionen als canvis de temperatura (com el vapor d'aigua, que es condensa i s'evapora) es consideren reguladors. L'activitat humana, sobretot des de la creació i el desenvolupament de la indústria, incrementa la concentració d'aquests gasos a l'atmosfera i provoca un augment de l'efecte hivernacle que es deriva en un augment de la temperatura global del planeta¹ (IPCC Fifth Assessment Report, 2014). Tanmateix, com que la temperatura forma part del complex sistema del clima global, en alterar aquesta variable se n'alteren d'altres, i és per això que el canvi climàtic comporta també canvis en la distribució, la quantitat i la freqüència de precipitacions.

Aquests canvis són globals però cada clima i, dintre d'aquests, cada ecosistema respon a l'escalfament global d'una manera diferent. Per això, les dades amb què treballarem són aquelles preses durant els últims anys a l'escola, tant les d'altres treballs de recerca com les de l'estació meteorològica, contrastades amb les prediccions més generals pel clima mediterrani.

L'estació meteorològica de l'escola, del model *Davis Vantage PRO2 PLUS* inalàmbrica², està situada per sobre del terrat més alt de l'escola i permet mesurar i enregistrar paràmetres com la temperatura (l'actual, la màxima i la mínima), la humitat relativa, la pressió atmosfèrica, la direcció i la velocitat del vent, la radiació ultraviolada i la quantitat i intensitat de pluja en diferents indrets de l'escola (un dels quals és el pati de les tortugues³). Totes aquestes dades es poden consultar a la web de l'escola i, a més, es guarden en un recull històric que forma part de diverses xarxes locals estatals i mundials (Sergio García, 2011; Ferran Jiménez, 2016). A més, tenim instal·lats dos enregistadors electrònics (*Datalogger Escort iLog*) al Pati de les tortugues. Un d'ells ja l'hem comentat en l'apartat anterior (vegeu figura 3), de doble sonda tèrmica, les quals es troben a l'interior d'un niu excavat per les tortugues a la zona de postes.

L'altre està situat a prop de les caixes on hibernen les tortugues petites i és un enregistador de temperatura de doble sonda tèrmica (una situada a la superfície i l'altra enterrada aproximadament a la mateixa profunditat a la qual s'enterren les tortugues) (Figura 5).



Figura 5. Detall de com es col·loquen a dins de caixes de protecció els enregistadors electrònics *Escort iLog* (esquerra) i la seva situació al Pati de les tortugues, molt a prop de les caixes on hibernen les tortugues (dreta). (Figura extreta de Ferran Jiménez, 2016).

¹ Cal destacar que l'augment de temperatura té lloc sobretot a les capes baixes de l'atmosfera mentre que les més exteriors han experimentat una baixada de temperatura (NASA, Global Climate Change).

² Veure article sobre l'estació meteorològica i la seva renovació (Mar Pons, 2015): <https://www.escolamestral.cat/meteo/renovacio1415.pdf>

³ On hi ha instal·lada la derivació inalàmbrica amb sensors de temperatura i d'humitat relativa.

Aquest tipus d'enregistrament continuat dona molta més informació que no pas un valor mitjà de temperatura. Per exemple, en la hibernació de l'any (2014/2015), que va ser una de les que podem considerar més estàndard d'aquests anys, si observem el registre continuat de temperatura pels enregistradors Escort iLog de doble sonda tèrmica al nivell on hibernen les tortugues (Figura 6), podem veure que en diverses ocasions la temperatura en superfície (línia vermella) supera la de profunditat. Tenint en compte que és un indret on no dona el Sol durant aquests mesos, això indica que es produeixen augments importants de temperatura que poden alterar el rellotge biològic de les tortugues que estan hibernant provocant que es despertin.

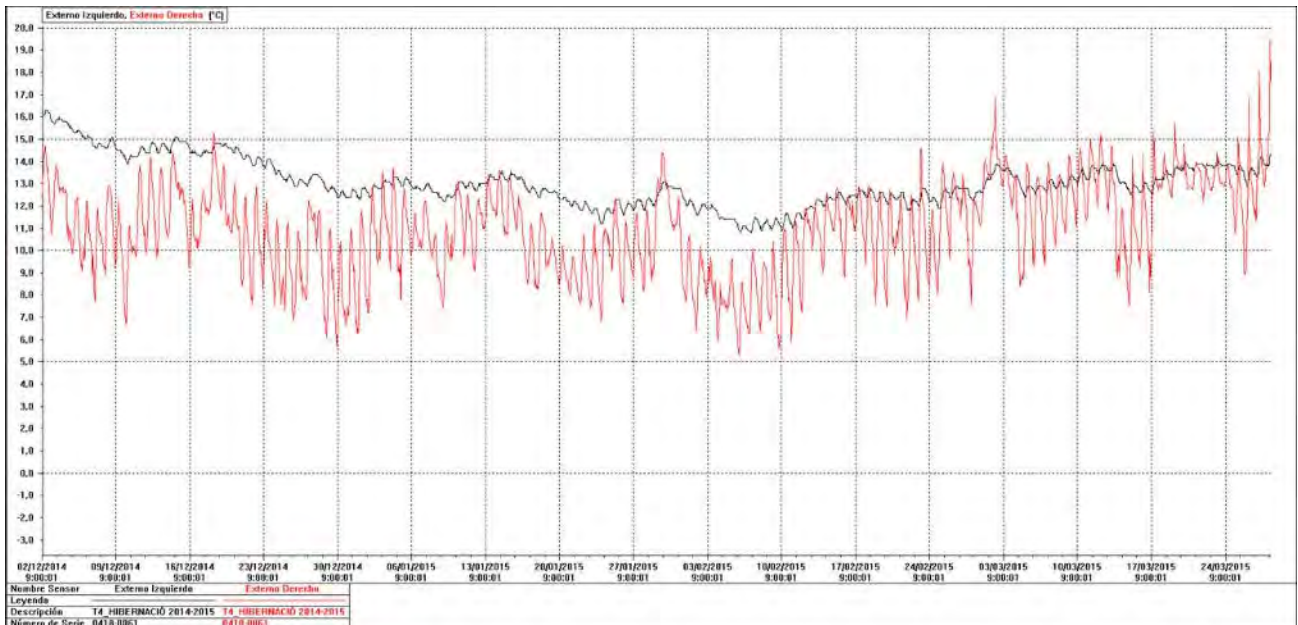


Figura 6. Registre de temperatura durant tota la hibernació 2014/2015 al Pati de les tortugues amb una sonda tèrmica situada al nivell on estaven enterrades les tortugues (línia negra) i una altre situada en superfície (línia vermella). La gràfica és una captura de pantalla a partir de la gràfica directa realitzada amb el programa *Escort Console Pro*. (Figura extreta de Ferran Jiménez, 2016).

2. Canvi climàtic

Com hem explicat en l'apartat anterior, el canvi climàtic és un concepte que fa referència als canvis significatius i de llarga durada del clima global del planeta. De la mateixa manera que totes les variables que formen part d'aquest sistema (temperatura, precipitacions, corrents d'aire i d'aigua, períodes de sequera...) estan connectades i quan una d'elles pateix una alteració, també la pateixen les altres, els diferents ecosistemes també es veuen afectats i pateixen canvis en la seva dinàmica, és a dir, en la relació de les espècies que hi habiten i el medi que les envolta. Per poder estudiar l'efecte que el canvi climàtic té sobre una espècie, doncs, cal conèixer quins són els canvis més significatius en el clima del planeta que aquest comporta, com afecta el clima específic de l'espècie (en aquest cas el clima mediterrani) i, a més, quins canvis provoca en el seu ecosistema. Cal dir, però, que aquestes prediccions només poden arribar a ser probables, a causa de la falta de dades en alguns àmbits i al fet que tots els elements que pateixen canvis a causa de l'escalfament global no estan aïllats i, per tant, depenen de molts altres factors mediambientals diferents de la temperatura.

2.1 Projeccions per al clima generals

Quan es parla de prediccions pel canvi climàtic normalment es fa referència a dos o tres escenaris diferents (ideal, moderat i pessimista). La diferència entre aquests és l'augment esperat de la temperatura global: en l'ideal augmenta 1,5°C al llarg del segle XXI, en el moderat 2°C, i valors més elevats es troben dins dels escenaris pessimistes. En totes les situacions es preveu una disminució en la massa de gel global i el consegüent augment accelerat del nivell del mar, també provocat per a dilatació tèrmica de l'aigua; una intensificació de les onades de calor, canvis en els règims de precipitacions i una acidificació dels oceans (causada per l'absorció del CO₂ en l'aire, que ha augmentat exponencialment des del 1960). La diferència entre els models, doncs, pel que fa a les conseqüències, és essencialment la severitat dels canvis i el ritme al qual es produeixen. Entre aquests, els més destacats són els que tenen a veure amb la temperatura i el règim de precipitacions (que inclou períodes de sequera).

Pel que fa a l'augment en la temperatura global, aquest es pot dividir en dos tipus d'augment. Un primer que afecta la temperatura mitjana global, i un segon que afecta la temperatura dels extrems calorosos (temperatura més alta dels dies més calorosos de l'any) i dels extrems freds (temperatura més baixa de les nits més fredes de l'any). Si es té en compte que hi ha un contrast important entre l'escalfament al mar i a la terra, i que la superfície terrestre està majoritàriament coberta per mar, un augment de 1,5°C en la temperatura mitjana global implica un escalfament més elevat en zones terrestres, amb un augment dels extrems calorosos encara més significatiu. A més, l'escalfament per la superfície terrestre no és equitatiu, de manera que les zones que pateixen un augment de la temperatura més elevat són Amèrica del Nord (les zones centrals i de l'est), el Mediterrani, Àsia (zones centrals i l'oest) i Sud Àfrica. Relativament als extrems de calor i de fred, es preveu que els primers augmentin en intensitat, freqüència i duració, i que els freds disminueixin en els mateixos aspectes, sobretot en les regions mencionades anteriorment (Hoegh-Guldberg, Jacob, Taylor *et al.*, 2018).

Pel que fa a la precipitació, les prediccions són menys clares a causa d'una falta de dades o la mala qualitat d'aquestes, però també es parla de dos tipus de canvis: un primer més general en què s'analitza l'augment o disminució de la quantitat de precipitació mitjana caiguda en una regió, i un segon que analitza el règim de precipitació de la zona (freqüència, intensitat i quantitat de precipitació dels dies en què plou més). Amb relació a canvis en la precipitació mitjana, un augment de 2°C s'ha relacionat amb un increment en el centre i el Nord d'Europa, i una disminució en l'àrea del Mediterrani. Respecte dels règims de precipitació, es preveu que els dies de precipitació severa (en què cau una gran quantitat de pluja en poc temps) tinguin lloc cada cop més sovint (Figura 7).

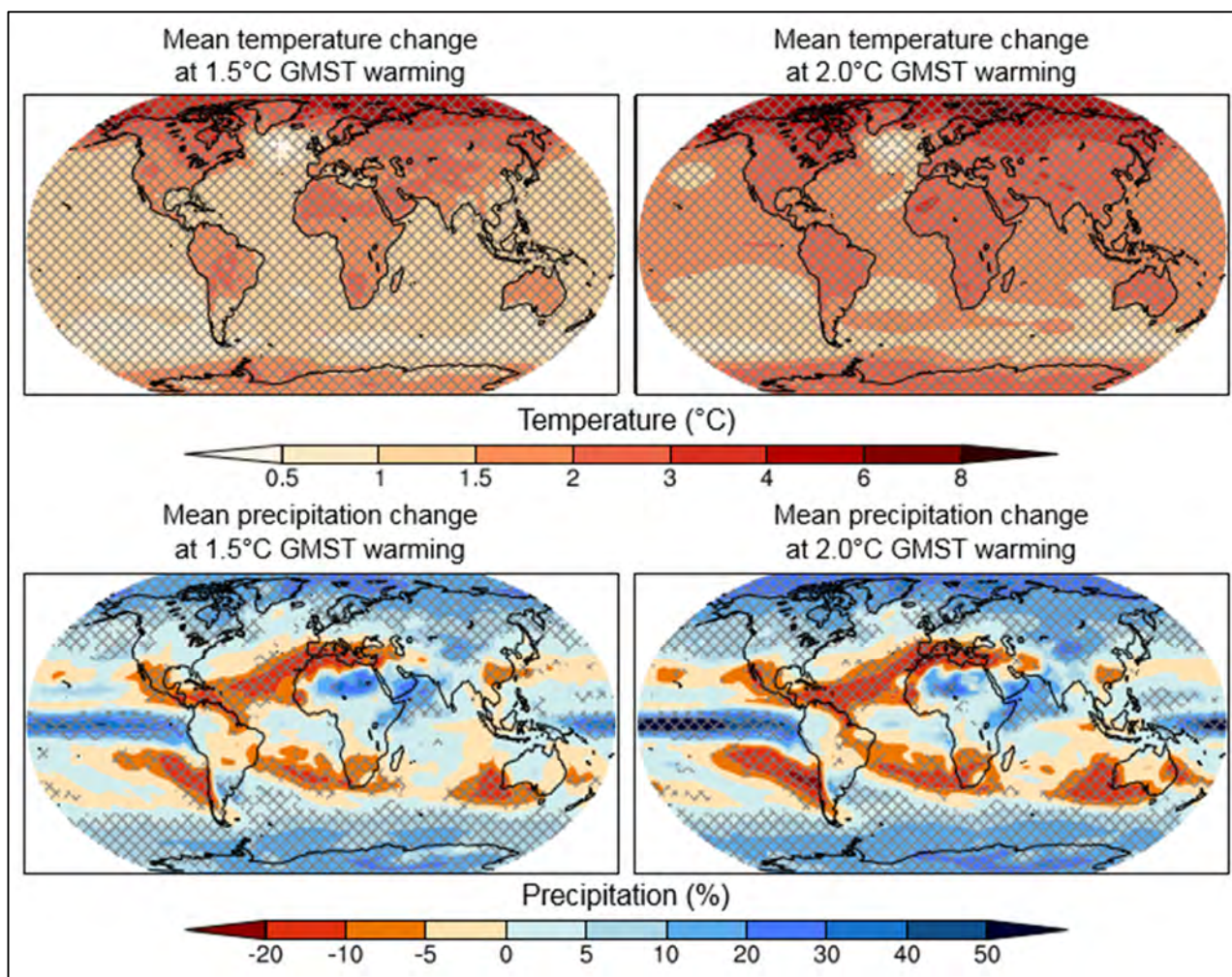


Figura 7. Projeccions pels canvis en la temperatura mitjana al llarg del segle XXI (part superior) i nivells de precipitació mitjana (part inferior) amb un escenari ideal (augment de 1,5°C de la temperatura mitjana, quadres de l'esquerra) i un escenari moderat (augment de 2°C de la temperatura mitjana, quadres de la dreta) (Font extreta de Hoegh-Guldberg, Jacob, Taylor *et al.*, 2018).

En aquesta figura es pot observar molt clarament la diferència entre l'augment de la temperatura mitjana a la superfície terrestre, en contrast amb l'augment a la superfície del mar mencionat anteriorment. La diferència en la coloració mostra que les superfícies continentals patirien un augment d'entre 0,5 a 1°C superior al dels mars i oceans. Pel que fa al règim de pluges, s'observa una marcada disminució per les zones dels tròpics de Càncer i Capricorn (on es troben ara els biomes caracteritzats per manca d'aigua, com el desert càlid), que sembla ser més marcada en latituds més altes a les dels tròpics.

2.2 Projeccions per al clima a la zona de la costa mediterrània

Tot i que podem descriure els canvis generals en el clima a causa de l'escalfament global, les respostes ecològiques apareixen i són modificades a escala local (Fernández Chacón, 2011). Per aquest mateix motiu és necessari conèixer l'heterogeneïtat espacial⁴ que presenten les diferents condicions climàtiques en les regions que habita la tortuga mediterrània, per poder examinar possibles respostes de l'espècie al canvi climàtic. Un estudi publicat d'acord amb l'últim informe del Panel Intergovernamental del Canvi Climàtic (IPCC, 2013) conclou que la tendència de canvi en zones que actualment es consideren dins del clima mediterrani excedeix les tendències globals. S'espera que l'augment en la temperatura de la regió Mediterrània superi la global en un 25%, més notablement durant l'estiu. De fet, amb un escalfament global de 1,5°C és probable que s'arribi als 2,2°C en aquestes regions (Cramer, 2018). Això es deu al fet que aquestes zones es caracteritzen per tenir una estreta relació entre la temperatura i la humitat del sòl (amb una alta evapotranspiració⁵) i tendeixen a experimentar sequeres (que es preveu que augmentin en durada i intensitat), cosa que disminueix la capacitat de refrigeració de la superfície per evaporació.

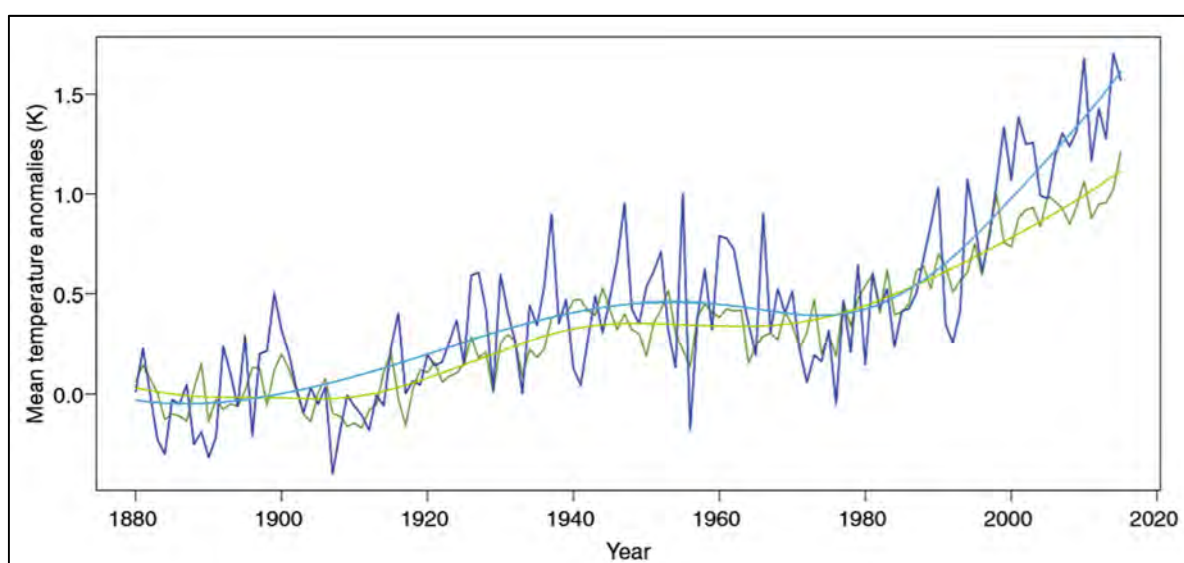


Figura 8. Comparació de l'increment històric de temperatura de l'atmosfera global (en verd) i les regions del voltant del mar Mediterrani (en blau). Dada extreta de: <http://berkeleyearth.org/> (W.Cramer, 2018)

En zones de clima mediterrani, un augment en la temperatura global de 2°C probablement suposaria una reducció en la quantitat mitjana de precipitació a l'estiu del voltant del 10-15%, sobretot durant l'hivern. (Alessandri, 2014), i si l'augment excedeix els 2°C i arriba als 4°C l'any 2080, el percentatge podria pujar fins al 30%. (Cramer, 2018). De fet, observacions recents conclouen que la tendència dels últims 40 anys és d'una disminució d'entre un 5% i un 20% de la precipitació, amb un augment de temperatura del 0,25°C a 0,30 °C per dècada (Fernández Chacón, 2011). Pel que fa als episodis de precipitació severa (més de 100mm en un dia⁶), és probable que, tot i la disminució de quantitat de precipitació mitjana, augmentin en freqüència i intensitat al voltant d'un 10-20%. El règim de precipitacions, doncs, tendeix cada cop més a ser estacional. Sobre les sequeres, el canvi climàtic (mitjançant l'augment de l'evapotranspiració, la

⁴ Concepte utilitzat en ecologia per referir-se a l'absència d'estabilitat en un espai, és a dir, una situació en que els paràmetres que s'estudien no son homogenis i varien en funció de la localització geogràfica.

⁵ Suma de l'evaporació i la transpiració vegetal des de la superfície del sòl cap a l'atmosfera terrestre.

⁶ Un exemple recent d'aquests episodis és el de les pluges torrencials que van tenir lloc a finals de l'estiu del 2019 (12 de Setembre) a València, Alacant i Múrcia, amb precipitació de fins a 521mm en 48 hores a Orihuela (<https://www.tiempo.com/ram/temporal-historico-dana-de-septiembre-de-2019.html>).

reducció de la precipitació mitjana i l'augment de temperatura) en causarà un augment significatiu en la durada del 7%. (Cramer, 2018).

El fet que canviïn les condicions climàtiques a la conca del mediterrani implica que l'extensió geogràfica d'aquest clima es veurà modificada. Patirà un desplaçament pel nord-oest d'Europa, Gran Bretanya, Escandinàvia, la part nord dels Balcans, Ucraïna, Kazakhstan i les parts més sud-oest de Rússia. Aquesta expansió pel nord del clima mediterrani ve acompanyada per la seva substitució en els marges del sud (Espanya, Itàlia, Grècia i Orient Mitjà) pel clima de tipus àrid (caracteritzats sobretot per la manca de precipitació i, normalment, temperatura elevada). Com bé es pot deduir doncs, aquesta transició vindrà marcada per una reducció de la precipitació a l'hivern i de la disponibilitat d'aigua a l'estiu (amb les conseqüents sequeres de major durada i freqüència).

De fet, encara que els canvis en la temperatura global s'arribin a estabilitzar en algun punt durant el segle XXI, canvis en la distribució dels climes poden seguir tenint lloc a un ritme gairebé constant.

2.2.1 Onades de fred i calor

Quan es mesura la temperatura al llarg d'un període en una zona determinada s'observa que els valors no són gens estables i que varien molt amb el temps: per una banda la temperatura tendeix a augmentar durant el dia i disminuir durant la nit (especialment si obviem l'efecte dels núvols, la proximitat al mar o l'entrada de vents) i per una altra, de manera més marcada com més lluny ens trobem de l'equador i dels pols, augmenta i disminueix amb les estacions. Tanmateix, els valors mitjans durant una mateixa estació poden variar i s'observen períodes durant l'estiu en què la temperatura, ja normalment alta, arriba a valors extremadament elevats amb relació a la normalitat (onades de calor) i períodes durant l'hivern en què la temperatura, normalment freda, disminueix molt més del normal (onada de fred).

Quan es parla de canvi climàtic es fa referència a un augment en la temperatura mitjana global del planeta. Per tant, si considerem les onades de fred i de calor com períodes amb una temperatura més alta del normal o més baixa del normal, en seguirem patint atès que les variacions seguiran existint. Ara bé, agafant com a referència els escenaris modelats per l'últim article de l'IPCC podem afirmar que, en les zones de clima mediterrani, les onades de fred seran menys intenses i menys freqüents (els extrems mínims de temperatura seran menys freds), mentre que les onades de calor patiran un augment en freqüència, intensitat i durada. Amb relació a aquestes últimes, es preveu que les més extremes apareguin primerament als tròpics i es vagin estenent cap als pols amb el temps.

3. Canvis en les condicions climàtiques importants per al cicle vital de *Testudo hermanni*

El canvi climàtic afecta gairebé tots els àmbits que caracteritzen el clima mediterrani i, per això, tots els canvis acaben repercutint d'una manera o altra en el cicle vital de la tortuga mediterrània. Tanmateix, podem considerar que hi ha dos períodes d'aquest cicle en què les condicions climàtiques més afectades per l'escalfament global (temperatura i règim de precipitacions) representen uns factors importants per al seu correcte desenvolupament: la hibernació i el període de postes i incubació.

Pel que fa a la hibernació, en analitzar les conclusions extretes per treballs anteriors sobre la hibernació de les tortugues a l'escola (Eduald Pasqual, 2008; Sergio García, 2011; Marc Olivella, 2013; Blanca García, 2014; Mar Pons, 2015; Ferran Jiménez, 2016; Sofia Domènech, 2018) i altres dades publicades (Vetter, 2006; Pursall, 2006; Fernández-Chacón, 2011) hem arribat a la conclusió que els factors mediambientals que afecten de manera més significativa aquest procés són la temperatura ambient (que ha de ser menor dels 15°C i mantenir-se a uns 4°C sota la superfície per permetre que es dugui a terme la hibernació, vegeu apartat 4) i la humitat relativa (si els hiverns no són secs i la humitat és relativament alta es pot evitar la deshidratació excessiva, vegeu apartat 4). Segons els models de previsió pels escenaris ideal i moderat de l'IPCC un augment de la temperatura global mitjana de 1,5°C comporta un augment en 2,2°C a la conca del mediterrani, amb una marcada reducció del número i intensitat de les onades de fred durant l'hivern. Això vol dir que no només els hiverns seran menys freds, sinó que disminuiran el nombre de dies en què la temperatura baixi a nivells anormals. Pel que fa a la humitat, aquesta està relacionada amb el règim de pluges i, com a conseqüència, durant els hiverns actuals els seus valors són relativament baixos (vegeu figura 16, apartat 4.4). Segons les previsions de l'IPCC, la quantitat de pluja a la zona mediterrània disminuirà, sobretot a l'hivern, i, per tant, podem esperar que també ho facin els valors d'humitat relativa ambient.

Pel que fa a la posta d'ous i incubació, els factors amb una major influència són la temperatura (que sota la superfície del sòl ha de sobrepassar els 26°C i ser menor dels 33°C) i la humitat del substrat. Aquest període es troba entre els mesos de maig i setembre i, per tant, a finals de primavera i durant l'estiu. Les prediccions de canvi del clima mediterrani durant aquests mesos, a part de l'augment generalitzat de temperatura, preveuen un augment en la freqüència, durada i intensitat de les onades de calor i les sequeres. Això no només comporta que augmenti la freqüència amb què la temperatura supera els 30°C ambient (amb valors també elevats sota la superfície del terra; vegeu figura 21, apartat 5.2.1), sinó també un augment en l'evapotranspiració que, combinats amb períodes de sequera causarien una disminució de la humitat del substrat.

4. Hibernació

4.1 Funció de la hibernació en la tortuga mediterrània i condicions necessàries

La tortuga mediterrània *Testudo hermanni*, i en general totes aquelles que viuen a l'àrea de la conca mediterrània, han evolucionat de tortugues tropicals que no hibernaven. Les tortugues tropicals d'avui dia viuen a latituds més baixes on la temperatura ambient es manté gairebé constant entre els 26° i 30°C, de manera que no tenen cap sistema de regulació tèrmica o, si en tenen, està dirigit a disminuir la temperatura corporal. Aquestes condicions són molt diferents de les d'on viuen les tortugues de regions amb clima mediterrani, on tot i que és fàcil rebre entre 2500 i 3500 hores de sol a l'any, la temperatura és molt més baixa i fluctua més entre estacions. Per això han desenvolupat, al llarg de la seva evolució, comportaments que els permeten aprofitar les característiques d'aquest clima per mantenir una temperatura corporal suficient. Per exemple, durant l'època activa acostumen a "prendre el sol": mitjançant els colors de la closca, que absorbeixen la major part de la radiació solar, escalfen tant la closca com la sang, i la calor passa a la resta del cos mitjançant el corrent sanguini (vegeu Annex Fotocronològic del dia 17/05/2019). A més, durant les nits dels mesos d'estiu, les tortugues s'enterren per conservar la calor que han obtingut durant el dia (Pursall, 2006).

El clima mediterrani, però, es caracteritza per tenir estius calorosos així com hiverns relativament freds, de manera que quan disminueix la temperatura i l'angle amb què incideixen els rajos solars, els comportaments mencionats anteriorment no són suficients per assolir els 30°C de temperatura corporal. Per això, les tortugues opten per disminuir la temperatura en comptes d'augmentar-la: deixen de prendre el sol i busquen zones més fredes, la seva activitat disminueix fins que deixen de menjar i comencen a buidar la bufeta i l'intestí. Quan aquests estan buits, s'enterren i comencen la hibernació. Una de les raons per les quals s'enterren és perquè, normalment, el sòl de les zones mediterrànies és lleuger, té bon drenatge i és molt mal conductor de la calor. Això permet que, tot i que la capa més superficial es trobi a una temperatura semblant a la de l'aire (posem per cas 0°C), uns quants centímetres per sota, on es troba enterrada la tortuga, la temperatura es manté més alta i molt més estable. Malgrat això és un fet conegut, curiosament no hi ha dades publicades, segons el personal científic del CRARC, per això van utilitzar les primeres mesures experimentals d'aquest fet que es van realitzar a l'escola (Gerard Sagués, 2005), i la gràfica obtinguda es va utilitzar en el seu llibre "La tortuga mediterrània a Catalunya" (Soler i Martínez, 2005). Val a dir que aquell va ser un any amb un hivern especialment fred, sobretot la setmana "siberiana" de finals de gener del 2005. Això ho demostra el fet que la superfície del bassal del Pati de les tortugues es va glaçar totalment (Figura 9). És una llàstima no poder disposar de totes les dades d'aquest hivern al pati (l'escola encara no disposava de l'estació meteorològica) perquè no s'ha tornat a produir un episodi similar. La temperatura en superfície al Pati de les tortugues ja no sol baixar dels 5°C de mínima durant tot el període d'hibernació, com hem vist en l'exemple d'una hibernació estàndard dels últims anys (vegeu figura 6). Això fa que les tortugues no s'hagin d'enterrar tant. Si mantenen la temperatura del cos al voltant dels 5°C és suficient perquè les constants vitals i el consum energètic sigui baix (Soler i Martínez, 2005; Pursall, 2006; Vetter, 2006).

Tot i que la tortuga mediterrània, evolutivament parlant, prové d'una tortuga que no hiverna, el seu cicle biològic actual inclou una hibernació anual i, per tant, si durant l'hivern la temperatura no és suficientment baixa i no hibernen, poden aparèixer canvis en la seva biologia i altres problemes de salut. En els exemplars juvenils està comprovat que no hibernar comporta sobrecreixement (amb el consegüent efecte "toblerone" consistent en què la closca adopta un relleu similar al d'aquesta coneguda modalitat de xocolata) i problemes d'alimentació. Aquest efecte ha estat comprovat a l'escola (Alba Ramon, 2010). Pel que fa als exemplars adults, a curt termini no presenten cap problema greu (tot i que l'alteració del cicle hormonal de l'individu quan no hibernen pot fer que la següent primavera les femelles no puguin ous). A llarg termini, però, sí que pot causar complicacions com anorèxia, disfuncions renals i l'eventual pèrdua de la capacitat reproductora (Pursall, 2006).

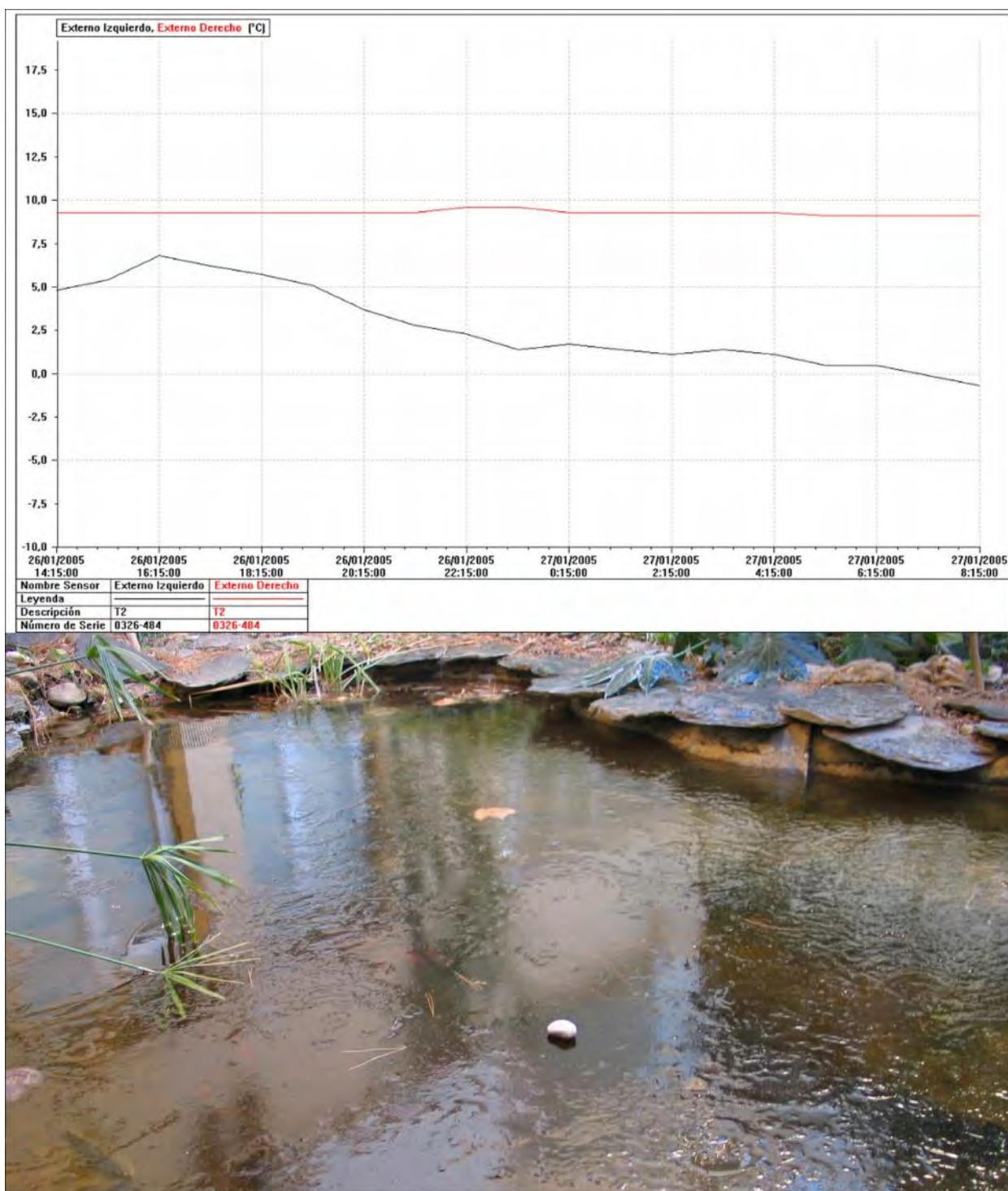


Figura 9. Registre de temperatura (a dalt) en la zona d'hibernació de les tortugues al Pati de les tortugues. La línia vermella correspon al sensor situat al nivell de les tortugues i la negra a la del sensor a tocar de superfície. S'observa clarament la diferència entre els dos indrets. La temperatura on estan situades les tortugues no varia (es manté al voltant dels 9°C) encara que la temperatura exterior assoleixi valors negatius. Fotografia (a baix) del bassal amb la superfície totalment glaçada. (Imatges extretes de Gerard Sagués, 2005).

4.2 Mètode d'hibernació de les tortugues a l'escola

Com ja hem comentat els factors mediambientals que afecten de manera més significativa aquest procés són la temperatura ambient i la humitat relativa. La primera determina si la tortuga farà la hibernació o no i quina serà la seva durada, però també si es desperten entremig, fet que provoca un augment del seu metabolisme i del consum d'energia, amb una pèrdua de pes sense capacitat de recuperació. Per l'altra banda, com bé hem dit abans, una humitat relativa molt baixa pot causar deshidratació (i una major pèrdua de pes si, per combatre aquesta situació, la tortuga utilitza els greixos acumulats per obtenir aigua metabòlica). En canvi, una humitat relativa alta sense pèrdua al llarg de la hibernació permet mantenir el pes (Ferran Jiménez, 2016).

Per les raons esmentades en l'apartat anterior a l'escola fem hibernar totes les tortugues cada any però fem excepcions amb aquells exemplars que pateixen alguna malformació greu i que, per tant, com que no estan en bones condicions abans de començar la hibernació tenen un risc molt més alt de mort que la resta⁷. A més, totes hibernen al Pati de les Tortugues, tal com ho farien en un estat de plena llibertat, però sota un registre per part nostra, de la temperatura i la humitat del substrat, en el cas de les petites.

4.2.1 Tortugues grans

Les tortugues grans són les que pateixen menys risc a l'hora d'hibernar. Això es deu al fet que totes pesen més de 600 grams (les dues femelles més de 1000) i la variació de pes és molt petita i rarament supera el 5% de la seva massa corporal. Duen a terme la seva hibernació al terrari amb malla electrosoldada però, a part d'això, tota la preparació la fan sense la nostra intervenció.

4.2.2 Tortugues juvenils

Les tortugues juvenils pateixen un risc molt més elevat a l'hora d'hibernar perquè el seu pes és molt menor (el pes mitjà de les disset tortugues que han hibernat aquest any abans de començar era de 22,9 grams, essent el valor més petit de 16,6 i el més gran de 37,2) i, en tenir una relació superfície-volum més gran, són més sensibles als canvis i d'humitat relativa⁸ i de temperatura (tant ambient com corporal) (Pursall, 2006; Sergio García, 2011).

Quan veiem que la temperatura comença a baixar (gràcies a les dades de l'estació meteorològica i els sensors col·locats al pati) parem de subministrar menjar i les col·loquem en plats plens d'aigua perquè beguin. Amb una pipeta Pasteur els mullem la closca, atès que això els representa un estímul per buidar el tub intestinal, i un cop pesades són traslladades a les caixes amb reixa metàl·lica on hibernaran. Aquestes estan plenes d'un substrat de terra i escorça vegetal triturada, on s'enterren les tortugues. Periòdicament mullem els voltants de les caixes per assegurar-nos que la humitat no baixa gaire i les tortugues no perdin massa pes.

Aquest tractament d'humitat correspon al segon d'una sèrie de tres tractaments que es van aplicar en les hibernacions dels anys 2013-2016, per observar com influïa en la pèrdua de pes de les tortugues juvenils. En el primer (Marc Olivella, 2013) no es va mullar el substrat on hivernaven, de manera que la humitat ambient va correspondre a la d'un hivern sec, sense pluja; en el segon (Mar Pons, 2015) es va mullar el substrat periòdicament, mantenint una humitat alta; en el tercer (Ferran Jiménez, 2016) es va mullar el

⁷ Més estudiat i treballat en el Treball de Recerca de la meua companya Carla Duran.

⁸ Tenen una relació superfície-volum gran aquells organismes en què el volum del seu cos és petit en comparació a la superfície que es troba en contacte amb l'exterior. És més fàcil deshidratar-se en aquestes condicions perquè com més gran sigui la superfície, més aigua s'hi pot evaporar, i si el volum corporal no és gran, la quantitat d'aigua tampoc ho és. A mesura que van creixent i el volum augmenta més que la superfície, la relació entre aquests dos elements disminueix i consegüentment també ho fa el perill de deshidratació.

substrat de forma esporàdica, recreant un hivern sec però amb algunes pluges (més explicat en el punt 4.3.1). El canvi en la pèrdua de pes de cada sèrie va ser considerable, com es pot observar en comparar els gràfics de les figures 10, 11 i 12.

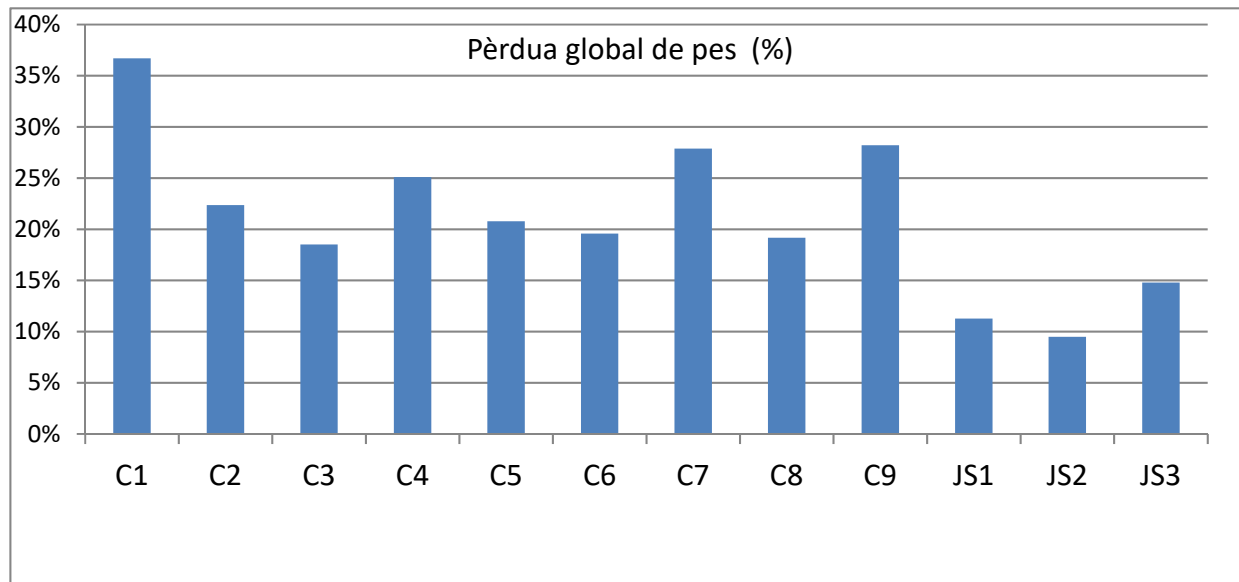


Figura 10. El percentatge de pèrdua de pes de les tortugues juvenils, amb relació a l'inici de la hibernació. La C1 és la que més perd (36,7 %) seguida de totes les altres tortugues que feien la primera hibernació (Sèrie C). Les "JS" tenen un percentatge menor tot i que també elevat (Extret de Marc Olivella, 2013).

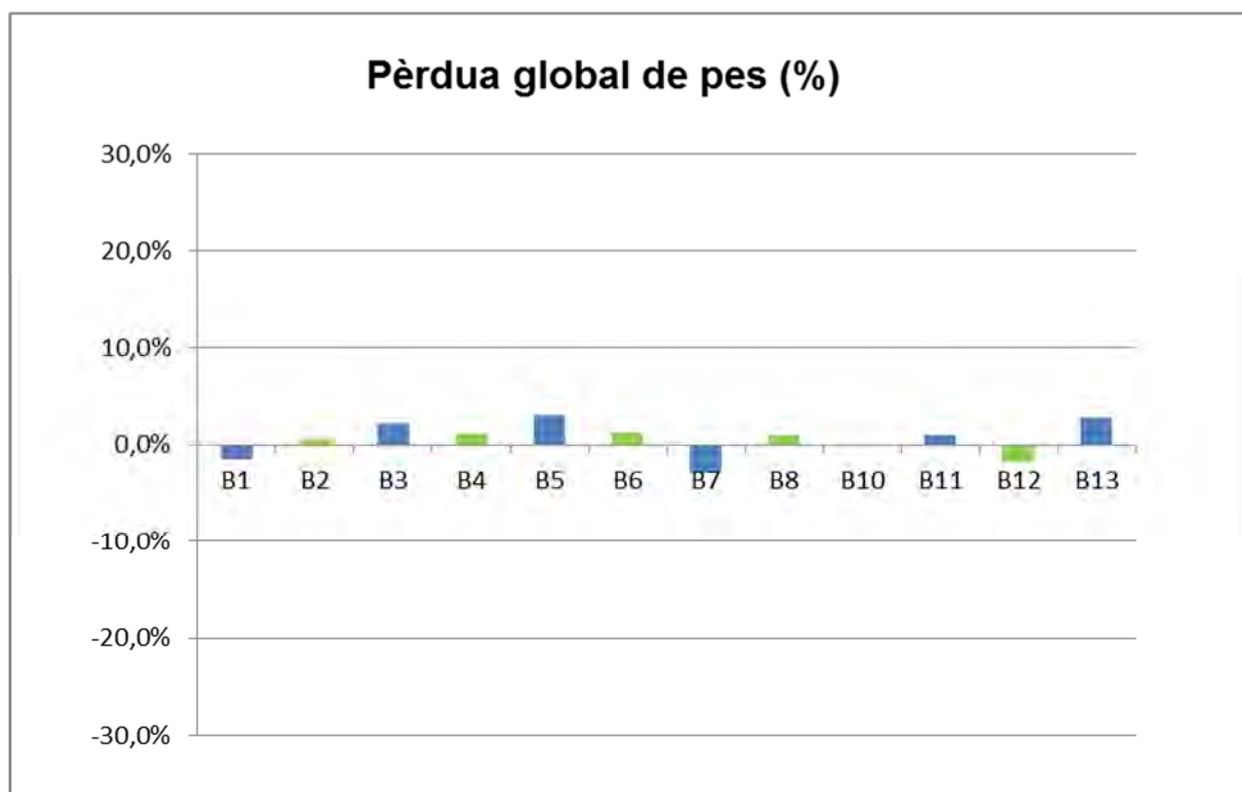


Figura 11. Gràfic del percentatge de la pèrdua de pes de les tortugues juvenils de la sèrie B durant la hibernació 2014/2015 en la que es va mantenir humit el substrat. (Extret de Mar Pons, 2015).

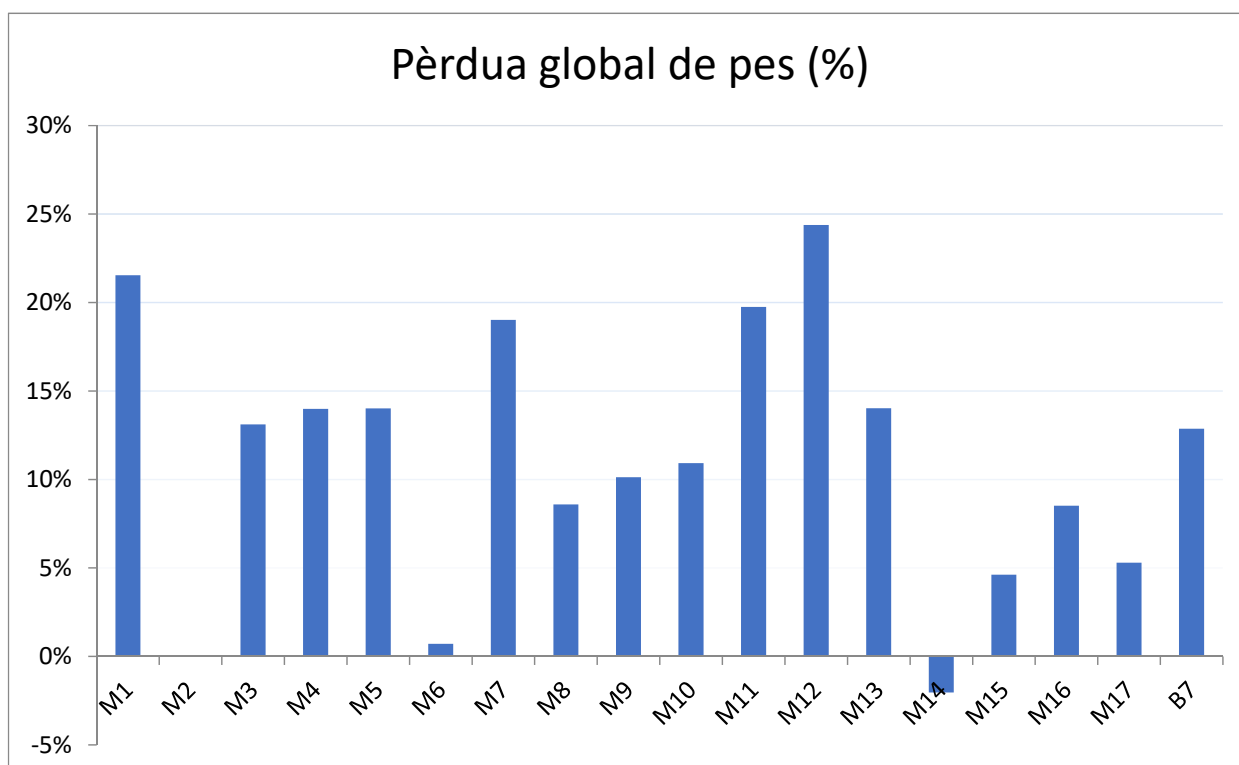


Figura 12. Gràfic del percentatge de la pèrdua de pes de les tortugues juvenils de la sèrie M durant la hibernació 2015/2016 en la que es va humitejar el substrat esporàdicament. (Extreta de Ferran Jiménez, 2016).

4.3 Controls de pes durant el període d'hibernació

Mantenir un control periòdic del pes de les tortugues mentre aquestes hibernen és important per dos motius. Per una banda, les dades serveixen de guia per veure com evoluciona la hibernació, sobretot la de les tortugues juvenils. Ens permet saber si alguna tortuga fa una baixada de pes important (especialment si aquesta sobrepassa el 10% de la seva massa corporal) i, per tant, si hem de considerar despertar-la i traslladar-la al laboratori perquè es recuperi o si hem de fer un seguiment més exhaustiu. Per una altra banda, les dades serveixen per analitzar diferents aspectes de la hibernació, tant la de l'any actual com les de tots els anys anteriors (queden guardades en una base de dades) i poden ser utilitzades en diversos estudis.

Aquest any hem dut a terme controls de pes setmanals en els exemplars juvenils i d'altres més aleatoris en els exemplars adults. Aquests es fan al Pati de les tortugues per intentar mantenir-les en les mateixes condicions en què hibernen i evitar que es despertin. Baixem amb una balança de precisió Ohaus. Aquesta balança es va començar a utilitzar fa 10 anys⁹ i periòdicament es fa una comprovació del calibratge utilitzant peses patró i seguint la metodologia explicada en un treball anterior (Sergio García, 2011); anem desenterrant les tortugues i pesant-les intentant que les dades siguin les més fidels a la realitat possible (petites variacions poden ocórrer si bufa vent, la balança no es troba en una superfície totalment plana o si les tortugues tenen algun tros de terra enganxat). A part d'anotar les dades de pes, anotem també si alguna d'elles està desenterrada (durant la hibernació, per intentar mantenir una temperatura corporal baixa i constant, les tortugues s'enterren o es desenterren de manera inconscient) o desperta abans de pesar-la (fet bastant comú aquest any a partir del febrer a causa de l'alta temperatura, com veurem més

⁹ Quan van començar els estudis detallats de les variacions de pes en tortugues juvenils. Es necessitava una balança que tingués un recorregut fins a 2 kg (la tortuga més gran pesa al voltant de 1,5 kg) i que alhora tingués una precisió de 0,1 g per les petites.

endavant). Un cop acabem de pesar-les totes les tornem a enterrar manualment i, si l'ambient és prou sec, mullem els voltants.

4.3.1 Variacions de pes en tortugues juvenils (hibernació de 2018/2019)

Aquest any el percentatge mitjà de pes perdut durant la hibernació de les tortugues juvenils ha estat del 3,76% (per sota del llindar del 10%, a partir del qual es considera que la tortuga està en risc) però els valors individuals són molt variats: com podem veure en la figura 13, la pèrdua més gran correspon a la tortuga S3 que va perdre un 13,17% i la més petita correspon a la tortuga S16, que va guanyar un 2,83% (va augmentar de pes).

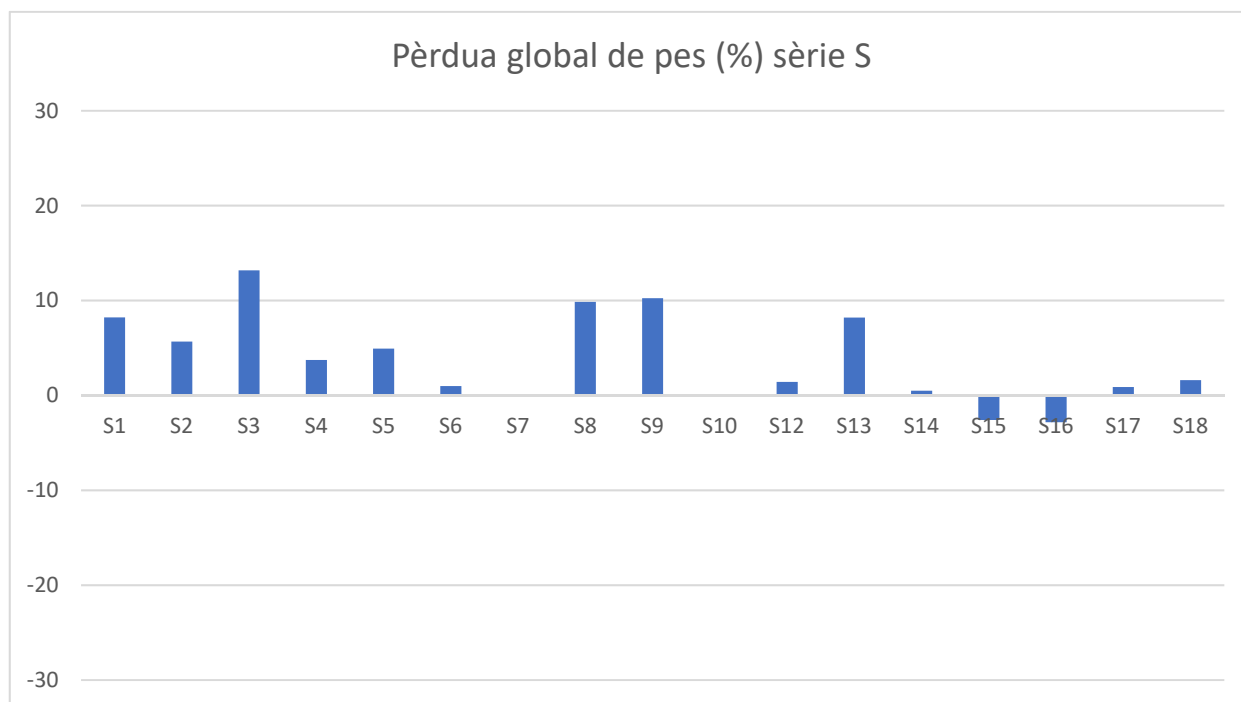


Figura 13. Percentatge de la pèrdua de pes de les tortugues juvenils de la sèrie S durant el període d'hibernació. La major part d'aquesta pèrdua és deguda a la deshidratació, raó per la qual si el substrat es manté humit la pèrdua és relativament baixa i, en cas que algunes gotes es quedin estancats i les tortugues els puguin beure, pot arribar a ser negativa (com és el cas de les tortugues S15 i S16)

La gràfica anterior mostra la pèrdua/guany de pes general, en comparar els valors presos just abans de començar la hibernació i just després d'acabar-la, però les variacions no són lineals. En la figura 14 s'observa la variabilitat del pes de manera més detallada. Tot i que el pendent de les funcions és gairebé sempre negatiu, hi ha alguns moments en què és positiu i, per tant, el pes de les tortugues augmenta.

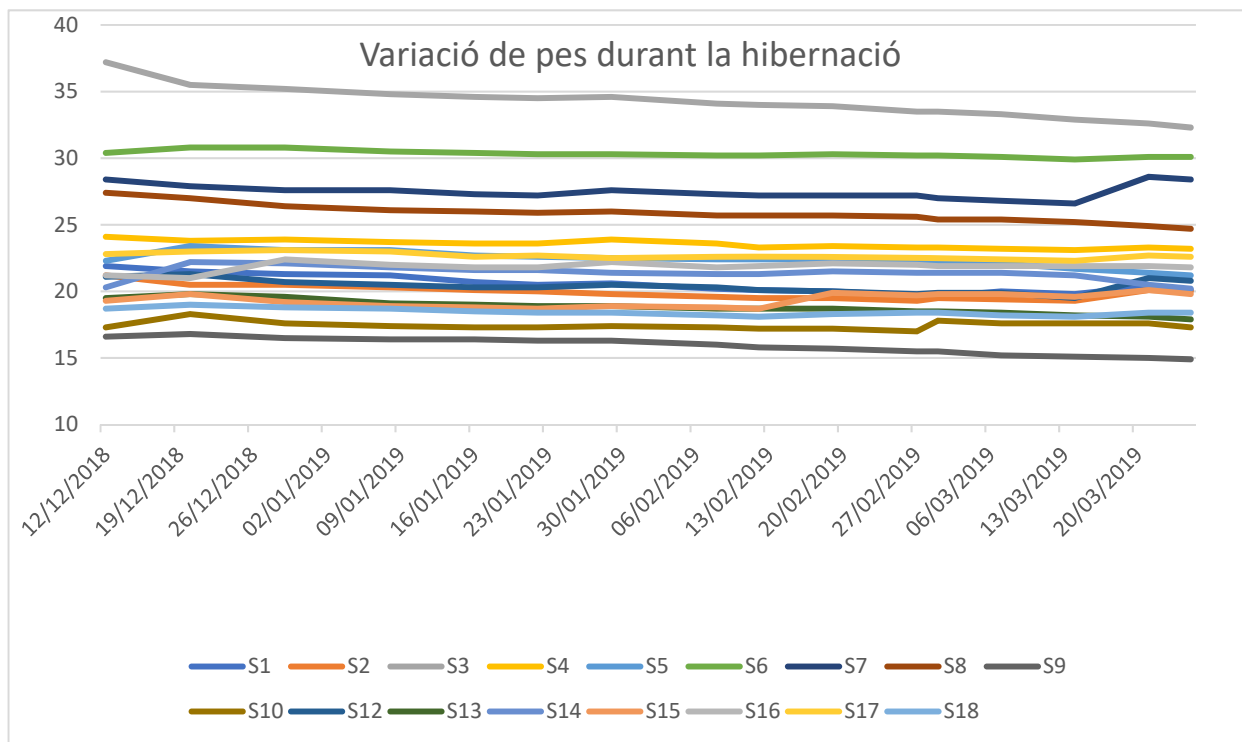


Figura 14. Variació de pes de les tortugues juvenils de la sèrie S (2018-2019) durant el període d'hibernació.

Aquests augments de pes esporàdics en les tortugues juvenils han estat descrits en altres treballs de recerca (Sergio García, 2011; Marc Olivella, 2013; Blanca García, 2014; Mar Pons, 2015; Ferran Jiménez, 2016). Cal diferenciar, però, els resultats fins a la hibernació 2013-2014 de les posteriors. En les primeres (Sergio García, 2011; Marc Olivella, 2013; Blanca García, 2014) no es mullava el substrat al voltant d'on hibernen les tortugues i per tant estaven sotmeses únicament a les condicions ambientals, però sense que els hi arribés la pluja directa quan plovia, perquè és en un indret aixoplugat del Pati de les tortugues. En la hibernació 2014-2015 es va mullar voluntàriament el substrat de forma freqüent, procurant que mai se saqués del tot; així es va demostrar que les tortugues no perden pes durant la hibernació si les condicions d'humitat són altes, i algunes fins i tot en recuperaven (vegeu figures 11 i 13). Aquestes recuperacions es donen a causa d'un augment en la humitat relativa de l'ambient, com hem dit, però creiem que sobretot és perquè les tortugues poden beure algunes gotes d'aigua que queden retingudes en el substrat on hibernen en cas que es despertin en algun moment. A l'any següent es va mullar el substrat cada 3 o 4 setmanes, però els resultats no van ser tan bons. De l'anàlisi realitzada durant tres hibernacions consecutives en tortugues juvenils d'una mateixa generació sota diferents tractaments d'humitat, es va concloure que la pèrdua de pes per deshidratació pot superar el 25% del pes de l'animal si hi ha períodes llargs especialment secs, encara que plogui de tant en tant. Això fa que puguem considerar la pèrdua per deshidratació el principal factor de risc de mort de les tortugues juvenils durant el primer any d'hibernació en condicions de semilibertat (a la natura el principal factor de risc és la depredació).

Per aquesta raó, per tal d'intentar minimitzar aquest risc per deshidratació, en les hibernacions posteriors a la del període 2015/2016, s'ha portat a terme una humidificació dels voltants del substrat més regular i freqüent (Arnau Ruiz, 2017; Sofia Domènech, 2018) i la que acabem d'analitzar en aquest apartat. Les pèrdues de pes importants en aquestes condicions, com passa amb la tortuga S3, ho relacionem amb el fet que ha estat més temps desperta.

4.4 Dades històriques de temperatura i precipitació (durant l'hivern)

Com hem dit abans, els factors que més contribueixen a la supervivència en exemplars juvenils són la temperatura i la humitat relativa. L'estació meteorològica de l'escola recull dades d'aquests valors, i per això tenim informació dels darrers 13 anys.

Pel que fa a la temperatura, aquest hivern ha estat lleugerament més calorós que la mitjana dels últims 13 anys ($0,39^{\circ}\text{C}$ per damunt del valor mitjà de $10,26^{\circ}\text{C}$) però no ha estat l'hivern amb una temperatura més elevada (aquest títol pertany al dels anys 2015/2016, com podem veure en la gràfica de la figura 15) atès que el gener ha estat més fred que la mitjana ($1,23^{\circ}\text{C}$ per sota).

En general, la temperatura mitjana durant aquest període és de $10,26^{\circ}\text{C}$ i, per tant, $4,74^{\circ}\text{C}$ per sota del límit de temperatura teòrica necessària per a la hibernació. Els valors mitjans de cada any disten una mitjana de mig grau per sota o per sobre d'aquest valor (amb la diferència més gran essent d' $1,09^{\circ}\text{C}$ per sota i $1,36^{\circ}\text{C}$ per sobre). Per tant, l'augment de temperatura previst pels escenaris ideal i moderat del canvi climàtic a la conca del mediterrani no seria suficientment, elevat al llarg del segle XXI, com per impedir que les tortugues entrin en hibernació (tot i que es trobaria molt a prop del límit). Tanmateix, al tractar-se d'un augment mitjà és probable que la proporció de dies en què la temperatura a l'hivern supera els 15°C vagi augmentant, i amb ella ho facin els dies en què les tortugues es desperten enmig de la hibernació.

Pel que fa a la precipitació (Figura 16) aquest hivern ha estat extremadament sec. La quantitat de pluja caiguda ($21,4\text{mm}$) està molt per sota de la mitjana (un $85,07\%$ menys). De fet, el mes menys plujós ha estat el mes de març ($0,2\text{mm}$), que és típicament aquell en què plou més (és el primer any que no apareix cap columna groga a la gràfica).

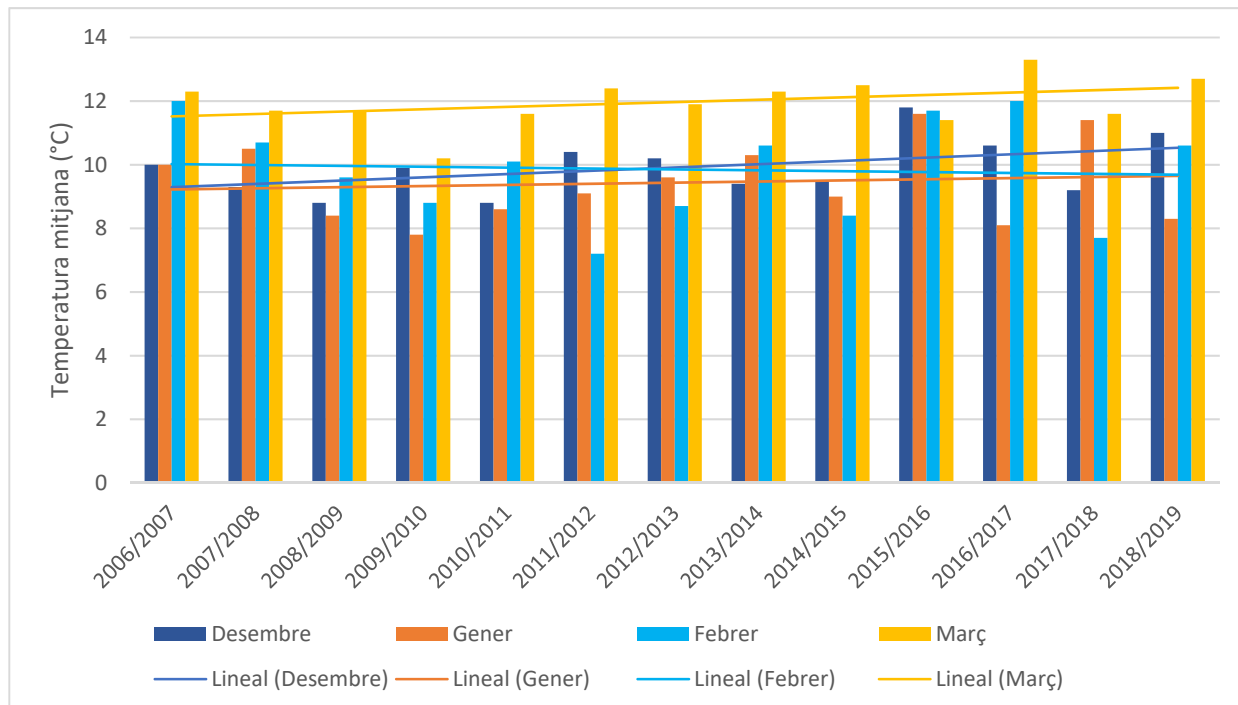
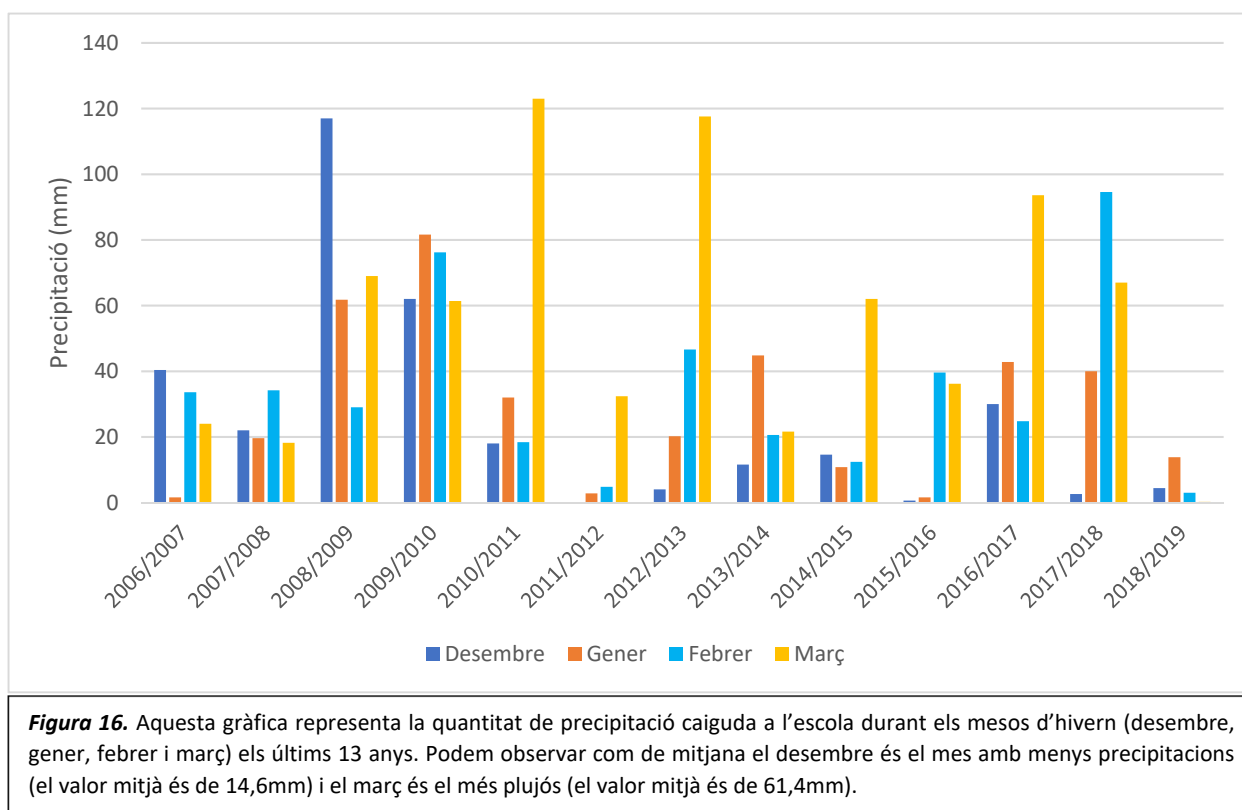


Figura 15. Aquesta gràfica mostra la temperatura mitjana ($^{\circ}\text{C}$) durant els mesos d'hivern (desembre, gener, febrer i març) dels últims 13 anys. Podem observar com les variacions són bastant irregulars (en un principi no sembla que la temperatura sigui cada cop més alta o baixa). Les línies de tendència mostren una disposició a l'augment de la temperatura en els mesos de desembre, gener i març, mentre que la del febrer sembla disminuir. Cal destacar, però, que només disposem de dades dels últims 13 anys i per tant les línies de tendència, tot i que corroboren les prediccions pel canvi climàtic, no poden ser molt significatives.



Cal tenir en compte, però, que en realitat a Catalunya, sobretot al litoral, el clima no correspon al del mediterrani típic¹⁰; la major part de les precipitacions cauen durant la primavera i la tardor, i els hiverns són més aviat secs. Tot i que la intensitat de les tempestes és alta, el nombre de dies amb precipitació és baix, i per això tendeixen a haver-hi períodes durant l'hivern en què no plou. De fet és típic tenir anticicló¹¹ durant els mesos de desembre i gener juntament amb l'entrada d'aire fred i sec el centre d'Europa. Tot això fa que la humitat relativa de l'aire sigui baixa (aquest fet es veu, per exemple, en què notem molt més les descàrregues de l'electricitat estàtica). A més, el clima mediterrani es caracteritza per ser anàrquic (molt variable) i el del litoral és més suau a causa de la influència amortidora del mar (vegeu figures 17 i 18).

La quantitat de precipitació caiguda aquest hivern és similar als valors de precipitació durant aquesta estació en zones de clima àrid o semiàrid, que és precisament el clima al qual tendiran les zones de la conca del mediterrani (ahora que el clima actual es traslladarà cap al nord). Per tant, podem esperar que la tendència pel que fa a la precipitació siguin els valors d'aquest any.

¹⁰ El clima mediterrani es considera un clima de transició entre l'humit de les costes orientals i el sec dels deserts tropicals i s'acostuma a dividir en dues etapes: una de seca i càlida a l'estiu i una altra de freda i humida a l'hivern.

¹¹ (Un anticicló és una massa d'aire fred que baixa de les capes altes de la troposfera, més dens i més pesat, i que exerceix una major pressió sobre l'àrea en la que es troba. En ser més pesat és més estable i per això en zones amb anticicló el cel és serè i no fa mal temps (no plou).

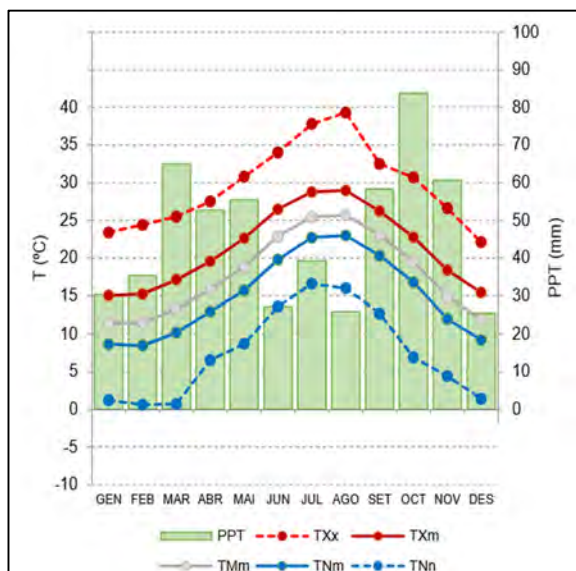


Figura 17. Gràfica de la temperatura (TXx: temperatura màxima // TXm: temperatura màxima mitjana // TMm: temperatura mitjana // TNm: temperatura mínima mitjana // TNn: temperatura mínima) i la quantitat de precipitació (PPT) al barri del Raval, Barcelona. Les dades de precipitació són molt similars a les de l'escola, i les de temperatura fluctuen entre un i dos graus més a l'hivern (mesos de desembre, gener i febrer). (Servei Meteorològic de Catalunya)

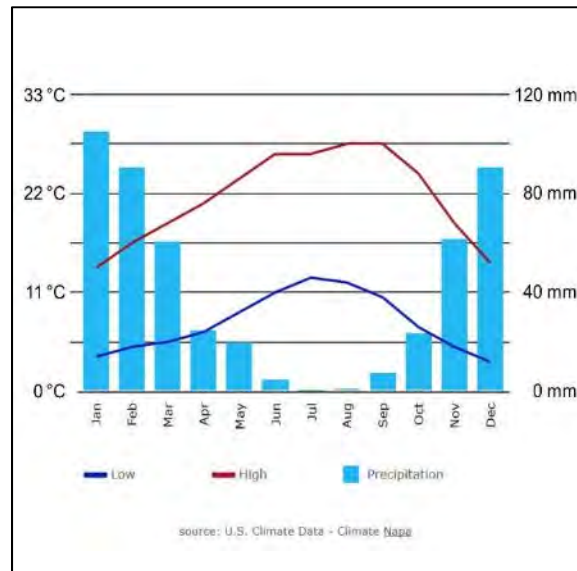


Figura 18. Gràfica de precipitació mitjana i temperatura mitjana (màxima en vermell i mínima en blau) al llarg d'un any a la ciutat de Napa, Califòrnia, Estats Units. El clima d'aquesta ciutat és el que es classifica com a típic mediterrani: els estius són calorosos i secs en contrast amb els hiverns, que són freds i humits.

4.5 Dades històriques dels períodes d'hibernació

Taula 1. Taula de les dades històriques dels períodes d'hibernació dels últims 13 anys (2005-2019). Les dades són extretes de Treballs de Recerca anteriors i de la base de dades del Pati de les tortugues.

ANY	PRINCIPI	FINAL	DURADA (dies)
2005/2006	4/11/2005	24/3/2006	140
2006/2007	5/12/2006	2/3/2007	87
2007/2008	16/11/2007	22/2/2008	98
2008/2009	26/11/2008	13/3/2009	108
2009/2010	26/11/2009	19/3/2010	113
2010/2011	17/11/2010	25/3/2011	128
2011/2012	18/11/2011	26/3/2012	128
2012/2013	27/11/2012	20/3/2013	114
2013/2014	14/11/2013	9/3/2014	115
2014/2015	1/12/2014	27/3/2015	116
2015/2016	20/11/2015	23/3/2016	124
2016/2017	29/11/2016	28/3/2017	120
2018/2018	1/12/2017	9/3/2018	98
2019/2019	12/12/2018	25/3/2019	103

Una de les característiques de la hibernació que ens interessa estudiar és la seva durada. Un augment en la temperatura podria fer disminuir el període de temps que dura la hibernació (en disminuir el nombre de dies amb temperatura inferior a 15°C). La taula 1 mostra quan van començar i acabar totes les hibernacions que s'han dut a terme al centre, així com la seva duració en dies. La duració mitjana és de 117 dies, que equival a uns 3,9 mesos.

En la gràfica (Figura 19) extreta de les dades de la taula podem observar de manera més clara que no sembla haver-hi cap tendència a la disminució de la durada de les hibernacions, atès que les variacions són bastant aleatòries. Tanmateix cal destacar que només tenim dades de 14 hibernacions i, estadísticament parlant, són molt poques per poder arribar a cap conclusió satisfactòria.

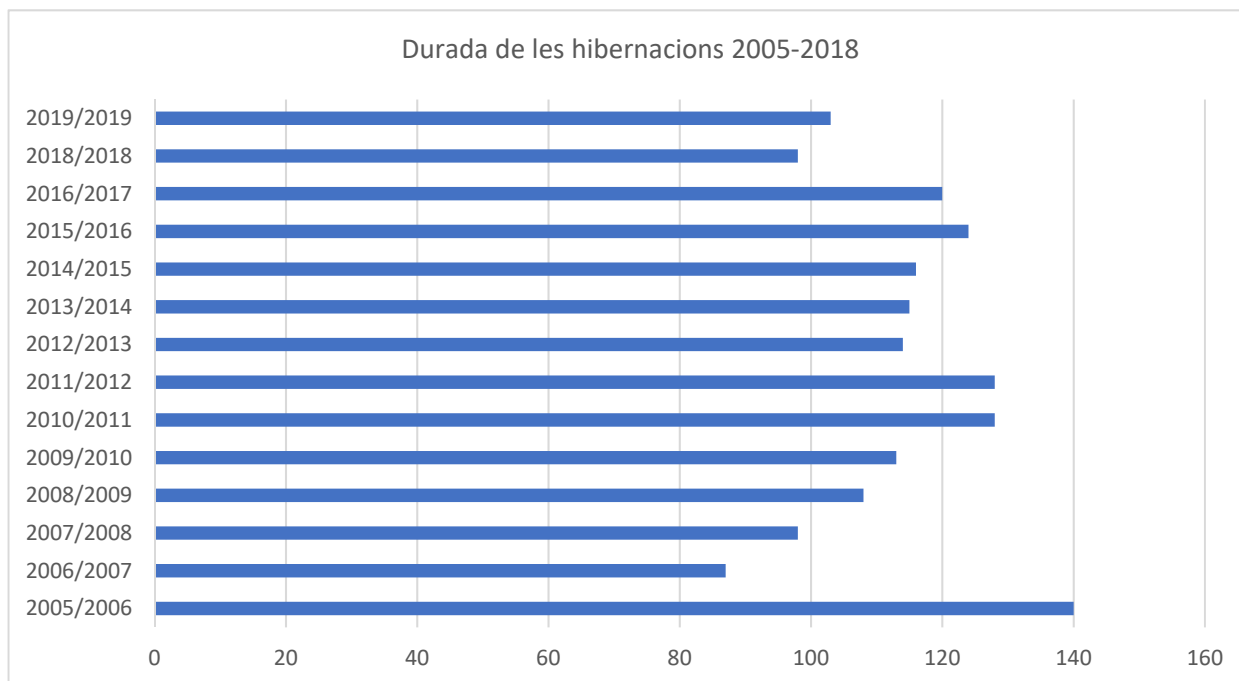


Figura 19. Aquesta gràfica mostra la durada dels períodes d'hibernació de les tortugues en els últims 13 anys. A l'eix d'ordenades trobem l'any dels períodes d'hibernació (com que comencen al novembre/desembre i acaben al febrer/març es troben en dos anys diferents) i al d'abscisses el nombre de dies de durada. Les hibernacions més recents es troben a la part superior mentre que les més antigues es troben a la part inferior.

4.6 Anàlisi de dades

Pel que fa al període d'hibernació de les tortugues, les dades de pes ens han permès tornar a comprovar que la major part de la pèrdua de pes durant aquest període es deu a la deshidratació i que, per tant, la humitat relativa és un factor decisiu en la supervivència de les tortugues durant l'hivern, sobretot en la dels exemplars juvenils (Fernández-Chacón, 2011). Aquesta afirmació relacionada amb la previsió pel règim de pluges al clima mediterrani durant l'hivern (vegeu apartat 2.2) ens pot fer pensar que la humitat relativa esdevindrà un factor crític en la supervivència juvenil de l'espècie, que podria disminuir. Això, sempre que es faci la hibernació en condicions ambientals estrictes, no com el nostre cas, que aportem regularment humitat al substrat. En el cas de l'última hibernació (vegeu figura 13) tot i que la variació general no ha estat molt alta, hi ha alguns valors que s'acosten a una pèrdua de pes del 10%, amb una tortuga (la S3) ha estat superior al 13%. Aquestes pèrdues de pes les relacionem amb períodes d'activitat, és a dir, que aquestes tortugues han estat més temps despertes i han consumit més reserves.

Amb relació a la temperatura, de moment no hem pogut observar cap canvi en la durada de les hibernacions tot i l'augment de temperatura dels últims anys. El que sí que s'ha observat ha sigut la freqüència amb què els exemplars juvenils es despertaven enmig del període, cosa que pot estar relacionada amb la disminució d'extrems freds de temperatura.

5. Postes i incubació

5.1 Condicions necessàries per a la posta d'ous en *Testudo hermanni*

L'època de postes de la tortuga mediterrània, com hem pogut comprovar a l'escola, comença cap a mitjan abril i acaba al juliol. No obstant això, pot ser que passat aquest període una tortuga amb ous fèrtils no hagi fet cap posta. També es pot donar el cas (molt més freqüent) que hi hagi ous que no arribin a descloure un cop acabat el període d'incubació. Això passa perquè s'han de complir altres condicions diferents de l'època de l'any, perquè les tortugues ponguin ous i d'aquests n'arribi a néixer una tortuga.

Perquè es dugui a terme la posta, les tortugues han d'haver passat com a mínim un any en el seu hàbitat i han de poder trobar un sòl fàcil d'excavar amb una temperatura i humitat adients. A més, com també hem pogut comprovar a l'escola (Sofia Domènech, 2018) tendeixen a buscar un terreny que disposi d'una lleugera inclinació per fer el forat (explicat més avall en aquest mateix apartat).

Ja en el període d'incubació, perquè dels ous en neixi una tortuga aquests han d'estar fertilitzats i han de ser preferiblement recents¹², i la femella ha de disposar de bons nivells de calci (si no l'embrió pot patir osteodistròfia¹³). La temperatura durant aquest període ha de ser d'entre 26 i 33°C i la humitat relativa del sòl no pot disminuir més del 60% o ser superior del 90% durant massa temps, ja que podria causar la deshidratació dels ous o l'asfíxia dels embrions, respectivament. A més, els ous han de trobar-se sempre en la mateixa posició perquè el rovell no és immòbil i podria causar l'asfíxia dels embrions si es mogués (Soler i Martínez, 2005).

5.2 Zona de postes

En estat de llibertat les tortugues busquen indrets que compleixin aquestes condicions mediambientals. Normalment es caracteritzen per tenir un sòl amb roques calcàries, on la temperatura i la humitat romanen pràcticament estables durant el temps que dura la incubació. Des de fa temps les nostres tortugues fan les postes gairebé de forma exclusiva en la zona oest del pati i, per això, està proveïda de sauló, una sorra gruixuda que resulta de la descomposició del granit en clima càlid i humit i compleix les característiques necessàries.

Com es va poder comprovar l'any passat (Marina Castellanos, 2018) la zona rep radiació solar durant gairebé tot l'any (excepte durant l'hivern): a partir del 4 de Març comença a entrar radiació directa al pati i la franja va augmentant fins a arribar a cobrir tota la zona de postes el dia del solstici d'estiu. Conseqüentment, durant tota l'època de postes la zona oest del pati es troba il·luminada de manera directa pel Sol i el substrat s'escalfa més que a la resta del pati (vegeu apartat 5.2.1).

¹² Els exemplars de tortuga mediterrània femella poden emmagatzemar tant esperma (com que són animals solitaris això assegura que puguin pondre ous algun any que no hagin trobat cap mascle) com ous fertilitzats que no han arribat a pondre. Tanmateix, cada any se'ls va afegint una capa de calci i, si no es ponen durant un període de temps llarg, poden arribar a tenir una capa de calci massa gruixuda (hipercalcificació).

¹³ Alteració del metabolisme ossi que causa, en tortugues juvenils, ossos i closca tous.

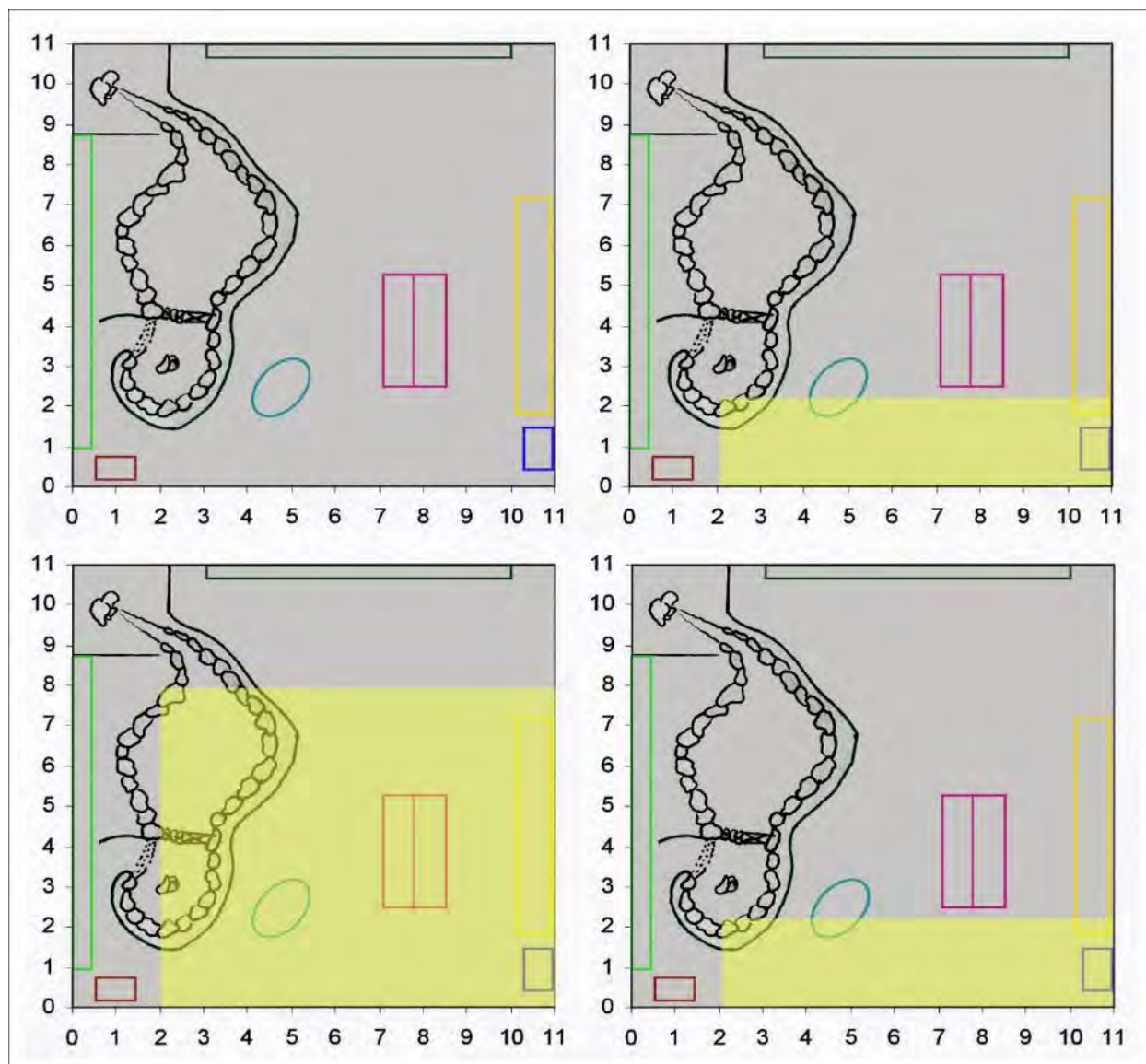


Figura 20. Il·luminació màxima teòrica que arriba al terra del Pati de les tortugues durant els canvis d'estació, començant, d'esquerra a dreta i de dalt a baix, pel solstici d'hivern (per fer-ho coincidir cronològicament amb el treball) el dia 21 de desembre, seguit per l'equinocci de primavera el dia 20 de març. Després hi ha el solstici d'estiu, el dia 21 de juny (que és el moment de màxima il·luminació que s'assoleix) i, per últim, tenim l'equinocci de tardor el 23 de setembre. (Figura extreta de Marina Castellanos, 2018).

Aquest any, seguint la metodologia de l'any passat (Sofia Domènech, 2018), hem proporcionat a la zona una inclinació d'aproximadament 17° (vegeu Annex Fotocronològic del dia del dia 9/05/2019) i l'hem anat mantenint al llarg del període de postes. També com l'any passat els resultats han estat positius: el nombre de postes ha igualat el de l'any passat (tres per cada tortuga) i tot i que hem obtingut menys ous (26) han nascut 19 tortugues (una més que l'any passat). Les dades d'aquest any, doncs, corroboren les conclusions a què es van arribar en els treballs de l'any passat, és a dir, una petita inclinació en la zona de postes suposa una millora en el nombre de postes i disminueix el nombre d'intents.

5.2.1 Incubació al pati

L'estudi sobre la possibilitat d'incubar alguna posta al pati, si aquesta es trobava en la part més "irradiada" de la zona oest (la més propera al terrari), va començar amb els treballs de l'any passat (Sofia Domènech, 2018; Marina Castellanos, 2018). Després d'analitzar la temperatura durant l'estiu dins d'un niu (vegeu apartat 1.4 i figura 4) es va concloure que no era un camí impossible i que es podia intentar dur a terme amb les postes futures.

Aquest any, prenent en consideració aquestes conclusions, hem ponderat aquesta opció amb les condicions que la posta es trobés a prop de la zona on hi ha els sensors (de tota la zona de postes és la que rep radiació solar directa durant més temps) i si vèiem que la temperatura del substrat superava els mínims necessaris amb una certa freqüència (ho hem anat comprovant cada migdia).

Al final, però, no hem dut a terme aquest projecte perquè cap dels dos escenaris s'ha donat. Totes les postes menys una es trobaven relativament lluny de la zona desitjada i només vam observar una temperatura elevada (fins als 28 graus) un migdia durant una onada de calor. Degut sobretot a aquesta última dada vam decidir que els ous de la posta propera al sensor farien la incubació al laboratori.

En la gràfica de la figura 21 podem observar com la temperatura només supera els 26°C a partir del mes de juny, i no ho fa de manera constant sinó intermitentment; la supera en cinc períodes durant un total de 58 dies (un 55% del total de la durada del període d'hibernació aquest any). Aquests dies coincideixen amb onades de calor (la freqüència i durada de les quals ha augmentat aquest estiu) i amb períodes de temperatura mitjana alta que generalment no baixa dels 25°C i valors màxims de fins a 30°C.

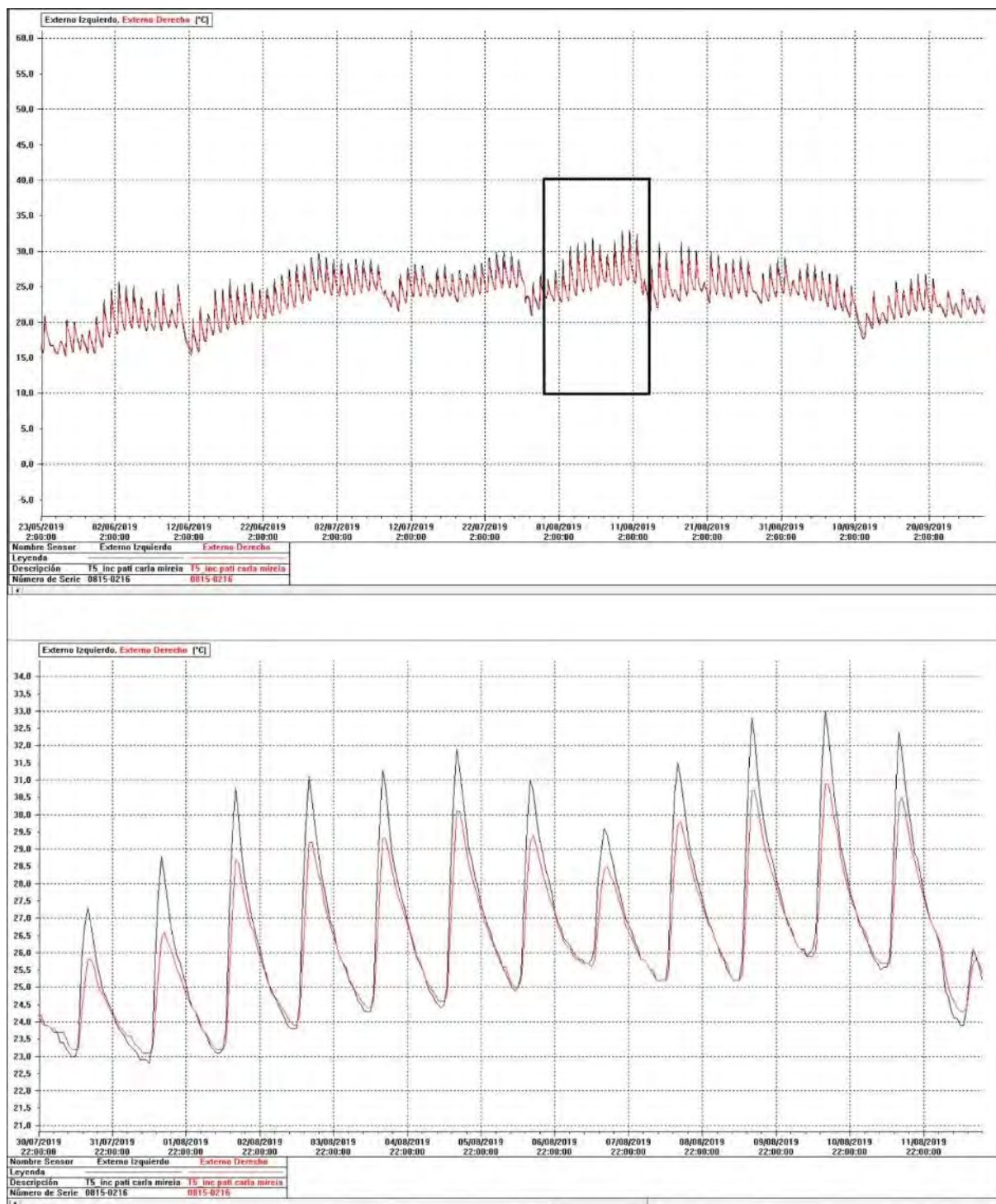


Figura 21. Registre de la temperatura d'incubació teòrica a dintre d'un niu a la zona de postes del Pati de les tortugues, a dos nivells de profunditat: la línia vermella representa el sensor col·locat al nivell dels ous enterrats a més profunditat i la negra representa el sensor col·locat al nivell dels ous enterrats més superficialment. A la gràfica superior es mostra el registre sencer (4 mesos, des de maig fins a setembre) i a la inferior es mostra el període de màxima temperatura (des del 30 de juliol fins a l'11 d'agost).

Per tant, sembla difícil que aquest any hagués resultat satisfactori deixar una posta al pati pel fet que la temperatura es presenta com a insuficient durant la meitat del període d'incubació, que ha durat 104 dies. Tanmateix cal matisar que la incubació d'un sol ou té una duració molt més curta (atès que la dada anterior equival al període entre la primera posta i l'eclosió de l'últim ou de l'última posta) i que, per tant, si alguna posta hagués coincidit amb l'inici del període més llarg en què la temperatura sobrepassava els

26°C (27 dies) potser es podrien haver desenvolupat correctament. El que sí que sembla impossible és la possibilitat d'obtenir femelles amb la temperatura enregistrada aquest estiu, atès que només supera els 30°C durant 10 dies en la part més superior i en quatre dies en la part inferior.

Així i tot, el fet que se sobrepassin els 26°C en un 55% dels dies mostra que ens trobem als límits de poder dur a terme una incubació al pati. Amb l'augment de la temperatura mitjana en 1,5°C previst per l'IPCC¹⁴ i sobretot també l'augment de la freqüència i durada de les onades de calor a l'estiu (i els màxims de temperatura), es pot deduir que la temperatura del substrat durant aquest període també anirà a l'alça i, amb ella, la possibilitat de dur a terme una incubació amb resultats satisfactoris al pati.

Aquesta tendència de la temperatura mitjana es pot observar en el gràfic de la figura 22, tot i que a causa de la poca durada del període estudiat aquesta no sigui gaire significativa. Les variacions semblen seguir unes oscil·lacions que es van repetint, però la tendència general, sobretot en els últims anys, és que els mesos de juny, juliol i agost siguin cada cop més calorosos (això es pot deduir del fet que els mínims de les oscil·lacions són valors més elevats com més ens apropem al 2019). El mes de Maig, en canvi, sembla mantenir-se estable, però aquests valors no tenen gaire influència en la temperatura del subsòl durant el període d'incubació perquè les primeres postes normalment tenen lloc cap a finals d'aquest mes.

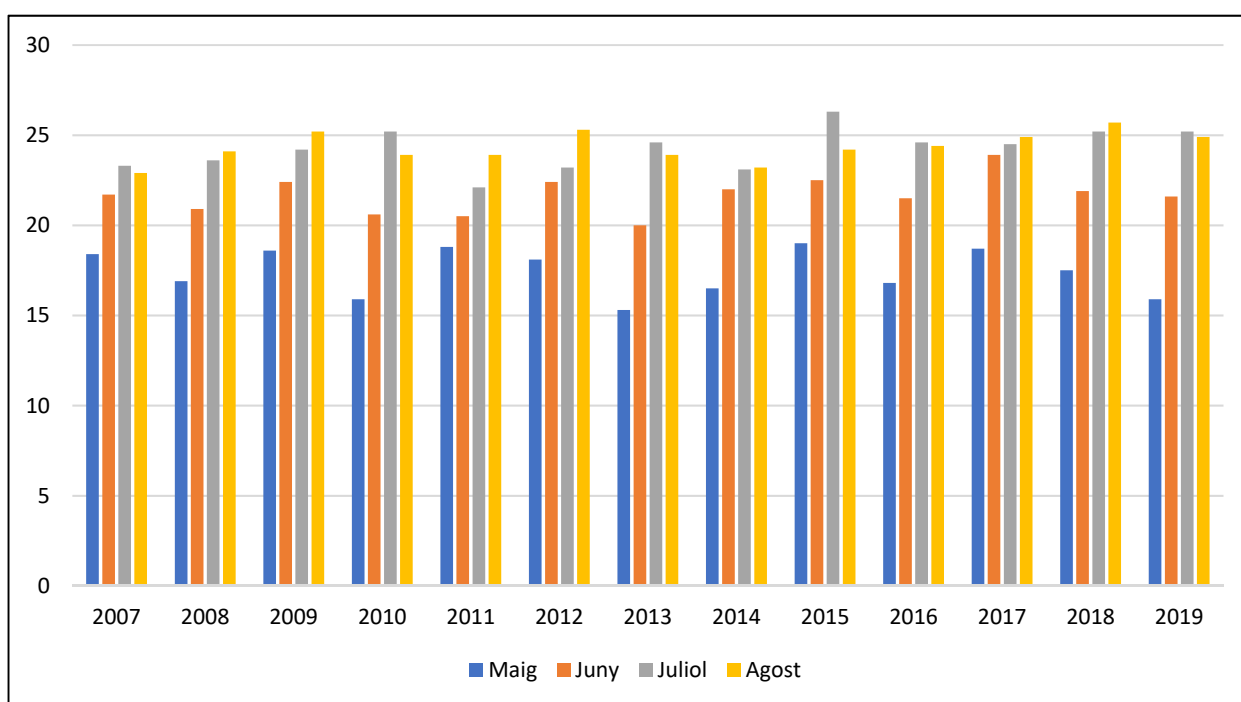


Figura 22. Aquest gràfic mostra la variació de la temperatura mitjana (°C) dels mesos corresponents al període d'incubació (Maig, Juny, Juliol i Agost) des del 2007 fins al 2019.

¹⁴ L'escenari més favorable dels tres que es preveuen, que implica un augment més elevat en les zones terrestres i sobretot a l'àrea de la conca del Mediterrani.

5.2 Naixements i malformacions

Un altre aspecte a tenir en compte del procés d'incubació i en el qual la temperatura té un paper important és la selecció del sexe i les malformacions dels nous exemplars. Amb relació al primer, es considera que la temperatura pivotant (temperatura en què es manté igual la probabilitat de generar mascles i femelles) es troba en els 31,5°C (Soler i Martínez, 2005) i l'òptima per a l'obtenció de femelles són els 32,2°C (Soler, 2008a; Soler, 2008b). Aquests dos valors són els que utilitzem avui dia a l'escola de manera separada en cada incubadora i constantment al llarg de la incubació. L'objectiu és veure si existeix alguna diferència en el percentatge de tortugues amb malformacions de cada incubadora i poder corroborar o descartar la hipòtesi que el fet que la temperatura òptima per a l'obtenció de femelles sigui tan propera al límit superior (33°C) fa que el risc de patir malformacions, o fins i tot que l'embrió no s'arribi a desenvolupar, sigui més alt del normal (Pau Vilaseca 2016).¹⁵

D'aquesta informació podem deduir que un augment en la temperatura mitjana global igual o per sobre 1,5°C, amb un augment superior en la zona de la conca del mar mediterrani (vegeu apartat 2.2), si es tradueix a un augment també de la temperatura del substrat on les tortugues fan els seus nius, podria fer augmentar la proporció de femelles de *Testudo hermanni* a la natura així com de malformacions (en aquest aspecte cal destacar que els rèptils són uns animals amb una alta tendència a malformacions, sobretot pel que fa al nombre de plaques, com hem pogut comprovar amb els exemplars de l'escola¹⁶).

¹⁵ Al llarg dels anys s'ha vist que aquesta diferència, tot i que no és molt gran, existeix.

¹⁶ Més informació en el treball de recerca de la meua companya Carla Duran.

6. Conclusions

En aquest treball, hem enfocat l'estudi de l'efecte del canvi climàtic en dos períodes del cicle vital de la tortuga mediterrània: la hibernació i la posta i incubació d'ous.

Les tendències estudiades en els últims anys i els models de predicció per l'escalfament global descriuen canvis molt accentuats en les característiques climatològiques de la conca del mediterrani, que són suficientment significatius com per afectar el nivell d'adaptació de la tortuga mediterrània al seu hàbitat actual.

Teòricament, és probable que l'augment de la temperatura durant l'hivern faci disminuir cada cop més la durada de la hibernació, tot i que encara no hem pogut detectar aquest efecte. Cal recordar que la tortuga mediterrània ha evolucionat de tortugues que no hibernaven i que, per tant, la hibernació és una adaptació que han adquirit al llarg del temps que els ha permès sobreviure en climes amb hiverns freds. Malgrat que el fet de no hivernar comporta alguns problemes hormonals i de salut, seria esperable que en veure's en un hàbitat de clima més àrid, s'acabés perdent aquesta adaptació a causa de la incapacitat de dur-la a terme¹⁷.

Amb relació a la disminució en el règim de precipitacions previst per la zona de la conca del mediterrani, aquesta farà que els hiverns tendixin, cada cop més, al que hem tingut aquest any (vegeu apartat 4.4, figura 16). En cas que la hibernació es segueixi duent a terme, això pot causar un augment en la taxa de mortalitat de l'espècie, especialment dels exemplars juvenils. Com s'ha demostrat en altres treballs (Marc Olivella, 2013; Pons, 2015; Ferran Jiménez, 2016) i exemplifiquen les figures 10, 11 i 12 de l'apartat 4.2.2, aquests no aguanten períodes relativament llargs de sequera sense perill de deshidratació. Aquest efecte es veurà incrementat, a més, perquè amb episodis puntuals de temperatura més alta durant l'hivern, les tortugues es despertarien més sovint, activant el seu consum de reserves i causant una pèrdua de pes encara més accentuada (inclús amb una humitat alta). Finalment, el canvi cap a un clima més àrid podria comportar també la disminució de la vegetació dels boscos mediterranis, fent disminuir la quantitat d'aliment disponible després de la hibernació (i també en general).

Amb relació a la incubació, l'augment de la temperatura (i en especial de les onades de calor) comporta una millora de les condicions climatològiques necessàries per dur a terme una incubació viable al Pati de les tortugues, que ara es troben just en els valors límit. Cal destacar, però, que és recomanable que es dugui a terme només quan la posta es troba a la zona més propera als sensors i correspongui a la femella més petita¹⁸.

El segon canvi més significatiu durant l'estiu és l'augment de la freqüència i intensitat de les sequeres. La disminució de la disponibilitat d'aigua que això comporta podria afectar les noves cries de dues maneres. Per una banda, una humitat insuficient en el substrat, que ja de per si tendeix a ser sec, podria dificultar el desenvolupament dels embrions; per altra banda disminuiria, com hem dit abans, la disponibilitat d'aliment per les noves cries nascudes el setembre. Un altre efecte del canvi climàtic, ja més hipotètic, és l'augment de la proporció de femelles de les poblacions de tortuga mediterrània. Com que el sexe ve determinat per la temperatura d'incubació de les primeres setmanes, si aquesta arriba a superar el valor pivotant de 31,5°C del substrat on s'incuben els ous, la probabilitat d'obtenir femelles seria major que la d'obtenir mascles.

¹⁷Cal remarcar que hem descartat la possibilitat d'emigració de l'espècie a zones més fredes per la baixa capacitat de dispersió de la tortuga i la barrera geològica que presenten els pirineus i el mar.

¹⁸ L'eficàcia reproductora d'aquesta és major que la de la femella gran (aquest any, per exemple, no ha nascut cap tortuga dels ous de la primera posta, corresponent a la tortuga gran).

7. Bibliografia

ALINE I FRANK (2006). *Influence de l'hibernation sur le taux de mortalité des juvéniles Testudo et Eurotestudo*. Association Carpassion. Cheloniens n°2, pàg 40-42.

ALESSANDRI, A., DE FELICE M. *et al.* (2014) *Robust assessment of the expansion and retreat of Mediterranean climate in the 21st Century*. Disponible a Internet:
<<https://www.nature.com/articles/srep07211>>

BRETONES, DAVID (2009). *Osteocronologia aplicada a la tortuga mediterrànea*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 43 pp. [En línia]. Disponible a Internet:
<http://issuu.com/escolamestral/docs/tr_dbretoes_web?e=1116350/2588477>

CASTELLANOS, MARINA (2018). *La radiació incident al pati de les tortugues i els seus efectes biològics*.

CASTRO G., LLEIXÀ I., MARTÍ C., PEDROLA N. (2003). *El Pati de les tortugues*. Treball de recerca. Escola Mestral.

COLOM, JORDINA (2009). *La selecció del sexe en Testudo hermanni*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 59 pp. [enlínia]. Disponible a internet:
<http://issuu.com/escolamestral/docs/la_seleccio_del_sexe_en_th_tr?e=1116350/5410814>

CRAMMER, W., GUIOT J., *et al* (2018). *Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean*. Disponible a internet:
<<https://www.nature.com/articles/s41558-018-0299-2>>

DOMÈNECH, SOFIA (2018). *Optimització de la zona de posta d'ous de Testudo hermanni al pati de les tortugues*

EENDEBAK, B. (2001). Incubation period and sex ratio of *Testudo hermanni boettgeri*. proceedings of the International Congress on *Testudo Genus*. Chelonii vol.3 pp: 257-267.

FAIXÓ, ÈLIA (2009). *Optimització del sistema d'incubació artificial per a la reproducció de la tortuga mediterrània a l'Escola*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 56 pp. [En línia]. Disponible a Internet:
<http://issuu.com/escolamestral/docs/tr_efaixo_web?e=1116350/5505087>

FERNÁNDEZ-CHACÓN, A., BERTOLERO, A. *et al.*, (2011). *Spatial heterogeneity in the effects of climate change on the population dynamics of a Mediterranean tortoise*

FRYE, F (1991). *Reptile Care, an Atlas of Diseases and Treatments*. T.F.H. Publications. New Jersey.

GARCÍA, BLANCA (2014). *Variacions de pes durant la hibernació i el període actiu en exemplars juvenils de Testudo hermanni i optimització reproductiva dels adults*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 65pp. [En línia]. Disponible a internet.
<http://issuu.com/escolamestral/docs/variacions_de_pes_durant_la_hiberna/1>

GARCÍA, SERGIO (2011). *Registre i anàlisi de les variacions de pes en exemplars juvenils de Testudo hermanni durant el període d'hibernació*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 69 pp. (Premi Recerca Jove 2012, nous premis CIRIT) [En línia]. Disponible a Internet:
<http://issuu.com/escolamestral/docs/tr_sergio_garcia_2012?e=1116350/3722382>

HERRERIAS, LAIA (2007). *Hibernació i reproducció de Testudo hermanni*. Treball de recerca de batxillerat. EscolaMestral. 46 pp. (Premi CIRIT 2007). [En línia]. Disponible a Internet:
<http://issuu.com/escolamestral/docs/hibern_lherrerias?e=1116350/5105097>

HOEGH-GULDBERG, O., JACOB D., TAYLOR M. et al., (2018). *Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems*. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Disponible a internet:

< https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf>

JIMÉNEZ, FERRAN (2016). *Variacions de pes durant el procés d'hibernació en exemplars juvenils de Testudo hermanni sota diferents condicions d'humitat ambient*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 75 pp. [En línia] Disponible a Internet: <https://issuu.com/escolamestral/docs/tr_ferran_vfinal_crarc>

JURADO, JUAN MARIA (2011). *Estratègies per millorar la reproducció de la tortuga mediterrània a l'Escola*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 73 pp. (Premi Baldiri-Reixac 2011). [En línia]. Disponible a Internet:

<http://issuu.com/escolamestral/docs/tr_juanma?e=1116350/2894081>

LOZANO, MARTA (2007). *Autosuficiència alimentària de la tortuga mediterrània*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 72 pp. (Premi CIRIT 2007). [En línia]. Disponible a Internet: http://issuu.com/escolamestral/docs/autosu_mlozano?e=1116350/5291644

MARÍAS, RUBÉN (2012). *Iniciació a la bioinformàtica a través de les tortugues de l'escola*. Treball de recerca. Escola Mestral. [En línia]. Disponible a internet:

http://issuu.com/escolamestral/docs/iniciacio_a_la_bioinformatica?e=1116350/1071689

MARSÀ, ALBERT (2010). *Increment de la biodiversitat al Pati de les tortugues*. Treball de recerca. Escola Mestral. [En línia]. Disponible a internet :

http://issuu.com/escolamestral/docs/amarsa_vfinal_96?e=1116350/4875992

MARTÍNEZ, BRAIS (2004). *Les tortugues del pati de l'Escola*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral.

MARTÍNEZ-SILVESTRE, A., SOLER, J., SOLÉ, R. (1997). *POLIDACTILIA EN Testudo hermanni Y CAUSAS TERATOGENICAS EN REPTILES*. Bol. Asoc. Herpetol. Esp. pp35-38.

MARTÍNEZ SILVESTRE A. (2003). *Enfermedades de los reptiles*. Reptilia ediciones. ISBN: 9788460765103. Barcelona. 207 pp.

MARTÍNEZ-SILVESTRE, A. (2008) *¿Por qué hay tantos reptiles de dos cabezas y otras atrocidades?*. CRARC. 44 pp. [En línia]. Disponible a Internet:

<http://www.amasquefa.com/uploads/44_Porque_hay_tantos_reptiles_de_dos_cabezas_y_o134.pdf>

MUÑOZ, A., SOLER, J. MARTÍNEZ-SILVESTRE, A. (2009) *Aportaciones al estudio de la alimentación de Testudo hermanni hermanni en el Parque Natural de la Sierra de Montsant*. Bol. Asoc. Herpetol. Esp. (2009) 20.

OLIVELLA, MARC (2013). *Hibernació i reproducció de Testudo hermanni (II)*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 52 pp. (Premi Baldiri-Reixac 2014). [En línia]. Disponible a Internet:

<http://issuu.com/escolamestral/docs/hibernaci_i_reproducci_de_testu>

OLLÉ, BERTA (2008). *Reproducció de la tortuga mediterrània a l'escola*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 58 pp. [En línia]. Disponible a Internet:

<http://issuu.com/escolamestral/docs/tr_berta_v9b?e=1116350/5165609>

PASCUAL, EUDALD (2008). *Variacions de pes durant el procés d'hibernació de Testudo hermanni*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 65 pp. (Premi al Fòrum de treballs de recerca del Baix Llobregat) [En línia]. Disponible a Internet: http://issuu.com/escolamestral/docs/variacion_pes_pascual?e=1116350/4846852

PASCUAL, E., HERRERIAS, L., VENDRELL, A., MARÍ, J., MARTÍNEZ, A. I SOLER, J. (2011). *Aportacions a les variacions de pes durant el procés d'hibernació en Testudo hermanni hermanni* (Gmelin 1789). Butlletí de la Societat Catalana d'Herpetologia nº19.

PEÑA, CLARA (2012-2013). *Estratègies per millorar la reproducció de la tortuga mediterrània a l'escola* (II). Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 47 pp. [En línia]. Disponible a internet: http://issuu.com/escolamestral/docs/estrategies_per_millorar_la_reproduccio_de_la_tortuga?e=1116350/1071609

PONS, MAR (2015). *Hibernació i reproducció de la tortuga mediterrània a l'Escola: recerca i projectes didàctics*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 95 pp. (Premi Baldiri-Reixac 2016). [En línia]. Disponible a Internet: https://issuu.com/escolamestral/docs/hibernacio_i_reproduccio_de_la_tortuga

PRIETO, ALBA (2009). *Osteocronologia aplicada a la tortuga mediterrània II*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 60 pp. (Premi Recerca Jove 2010, nous premis CIRIT). [En línia]. Disponible a Internet: http://issuu.com/escolamestral/docs/osteocronologia2_tr_complet_br?e=1116350/2587960

PRIETO, A., MARTÍNEZ-SILVESTRE, A., SOLER, J., BRETONES, D., PASCUAL, E., MARÍ, J. (2013). *Aportaciones al estudio osteocronológico en un ejemplar de Testudo hermanni*. Boletín de la Asociación Herpetológica Española. Número 24(1): 50-55.

PURSALL, B. (2006). *Mediterranean Tortoises*. Edició de Editorial Hispano Europea, S.A. Traducció de Enrique Dauner (*Manuales del terrario. Tortugas terrestres mediterráneas*).

RAMON, ALBA (2010). *Optimització de les condicions de vida de la tortuga mediterrània a l'Escola*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 76 pp (Premi Recerca Jove 2011, nous premis CIRIT) [En línia]. Disponible a Internet: <http://issuu.com/escolamestral/docs/alba-ramon-tr-web?e=1116350/4376733>

RUBIO, G. (2006). *Tortugas terrestres en cautividad*. 265 Cuestiones sobre el mantenimiento y enfermedades. Ed. Egartorre. Madrid. ISBN: 84-87325-73-4. 250 pàg.

RUIZ, ARNAU (2017). *Optimització del sistema d'incubació artificial per a la reproducció de la tortuga mediterrània a l'Escola* (II). Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 68pp. [En línia]. Disponible a Internet: https://issuu.com/escolamestral/docs/tr_arnau_vf_imprimir_br

SAGUÉS, GERARD (2005). *Microclimes al Pati de les tortugues*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 65 pp. (Premi Baldiri-Reixac 2005). [En línia]. Disponible a Internet: http://issuu.com/escolamestral/docs/microclimes_gsagues?e=1116350/4971363

SOLER, J., MARTÍNEZ, A. (2005). *La tortuga mediterrània a Catalunya*. Edicions l'Agulla de Cultura Popular. Tarragona. 196 pp.

SOLER, J., MARTÍNEZ, A., SAEZ, A., PERIS, M. (2007). *Dieta de les tortugues mediterrànies (Testudo hermanni hermanni) reintroduïdes al Parc Natural de la Serra del Montsant (temporades 2006 – 2007)*. Article. CRARC. 3 pp. [en línia]. Disponible a internet: <http://www.crarc-comam.net/>

SOLER, JOAQUIM (2008a). *El sexe de les tortugues el determina la temperatura d'incubació*. CRARC Noticiari. [En línia]. Disponible a internet: <http://www.amasquefa.com/html/public/entitats?id=162&showContent=NOTICIES&content=16425>

SOLER, JOAQUIM (2008b). Neixen al CRARC les primeres femelles de tortuga mediterrània amb el sexe predeterminat per la temperatura d'incubació. CRARC Noticiari. [en línia]. Disponible a internet:<<http://www.amasquefa.com/html2/public/entitats?id=162&showContent=NOTICIES&content=17141>>

SOLER, J. (2011). *Estat actual del programa de cria en captivitat*. Jornada sobre evolució i cria en captivitat de la tortuga mediterrània. Torreferrussa (Santa Perpètua de la Mogoda). 22 d'octubre de 2011.

SOLER, J., MARTÍNEZ-SILVESTRE, A.& ROCA, L. (2012). *Contribution à l'étude de l'alimentation de Testudo hermanni* (Gmelin, 1789) *dans le Parc de Garranex fotocronològic*(NE de l'Espagne). *Bull. Soc. Herp. Fr.* 142-143:79-88.

VENDRELL, ALBA (2006). *Etologia i reproducció de la tortuga mediterrània*. Treball de recerca de batxillerat. Escola Mestral. 58 pp. Pòster-resum. [En línia]. Disponible a Internet: <http://issuu.com/escolamestral/docs/avendrell_poster?e=1116350/5378528>

VETTER, H. (2006). *La tortuga mediterránea (Testudo hermanni)*. Edition Chimaira y Reptilia Ediciones. 325 pp.

VILASECA, PAU (2016). Malformacions en Testudo hermanni, causes ambientals o genètiques? (premi Baldiri Reixac 2017). [En línia]. 89 pp. Disponible a Internet: <https://issuu.com/escolamestral/docs/malformacions_en_thh_pvm>

NASA GLOBAL CLIMATE CHANGE, CAUSES OF CLIMATE CHANGE <<https://climate.nasa.gov/causes/>>

CLIMATE CHANGE IN THE MEDITERRANEAN <<https://www.iucn.org/regions/mediterranean/our-work/climate-change-mediterranean>>

ANNEX FOTOCRONOLÒGIC del Projecte del *Pati de les tortugues* (curs 2019-2020)



Mireia Cruz Fernández
Carla Duran Castella
Alba Jiménez Lupiáñez
Novembre de 2019
Escola Mestral

Pròleg

Des de ja fa 16 anys, concretament des de l'any 2003, que és quan el *Pati de les tortugues* passa a ser instal·lació col·laboradora del DMAH (Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya), que ara s'inclou en el Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural (DAAM) de la Direcció General de Medi Natural i Biodiversitat, per a la tinença i cria de tortuga mediterrània (*Testudo hermanni*) a l'Escola, es porta a terme un registre de les activitats que s'hi desenvolupen, any rere any, pels alumnes que hi fan treballs de recerca relacionats, independentment del tema del seu treball de recerca concret.

Això, malgrat representa un esforç extra, facilita als alumnes la realització de pràctiques diverses i permet l'existència d'un "fil conductor" de les diferents accions i activitats realitzades al llarg dels anys i sobretot la seva ràpida consulta, per tal d'aprendre dels estudis previs i no repetir aquells ja finalitzats. D'aquesta manera, el *projecte* pot anar enriquint-se i evolucionar, amb la participació de tots els alumnes que en formen part.

Per tal de portar a terme aquest registre es fa servir una metodologia molt senzilla, però eficaç, consistent en dues eines, una basada en l'antiga llibreta de camp (transformada actualment en un arxiu compartit al *Dropbox*) on cada alumne hi anota les diferents activitats que va realitzant i les idees que se li van acudint, relacionades amb el seu treball de recerca, i una de més moderna, la fotografia digital. Aquesta última esdevé, més enllà del seu valor gràfic, una eina molt útil per el registre de tasques i esdeveniments de caire cronològic, perquè queda tot enregistrat en les *metadades* que acompanyen a tot arxiu electrònic (data i hora, a part de totes les dades dels paràmetres fotogràfics de la captura realitzada).

Tant les fotografies com els comentaris del document fotocronològic les fem sempre entre tots, però la principal responsabilitat del registre fotogràfic i de l'edició digital (agrupació fotos de tres en tres...) i muntatge final de les fotografies, tradicionalment recau en l'alumne que fa el seu treball de recerca de fotografia. Això és el que ha passat en 11 dels últims 12 anys, en què ha coincidit que un dels tres treballs relacionats amb el projecte ha estat de fotografia. D'aquesta manera es manté viva aquesta eina de consulta i de registre d'accions que resulta tan útil a qualsevol alumne interessat en entrar a formar part del projecte del *Pati de les tortugues* o del projecte *Treballant la fotografia de l'Escola*.

Josep Marí

1. Actualització del banc de dades del projecte *Pati de les tortugues*

1.1 Dades de pes i biomètriques de les tortugues

Es continua el seguiment del registre periòdic de pes de les tortugues adultes (tant del període actiu com durant la hibernació) i juvenils que estan en estudi. Aquestes dades es van incorporant, en format Excel, a la base de dades iniciada el 4 de novembre de 2005. També es guarda un registre de les dades de pes i biomètriques de les tortugues nascudes a l'escola (i també dels ous). Aquests arxius es van actualitzant periòdicament, per a possibles estudis posteriors a més llarg termini i també per a fer consultes per als actuals (treballs de recerca de Mireia Cruz i de Carla Duran).

1.2 Registres de dades ambientals i efectes del canvi climàtic.

S'enregistren els valors de temperatura de diversos indrets (a nivell de superfície i a nivell d'on s'enterren les tortugues per a hibernar i a nivell dels ous de les incubadores i, apartir del curs passat, també a nivell d'on enterren els ous a la zona més irradiada del pati les tortugues). Aquestes dades són enregistrades periòdicament de forma intermitent (des de desembre de 2004) amb enregistradors *DataLogger Escort* i guardats en una carpeta (*MyLogger Data*) i *Lascar_USB* que es va actualitzant amb els treballs de recerca dels últims anys, per tal de poder ser utilitzades en qualsevol moment en treballs actuals (Mireia Cruz i Carla Duran) o futurs. Els fitxers de dades es guarden en el format original (editables amb el programa *EscortConsole* o *EasyLog*) i també en format full de càlcul (*Excel*). Aquest any amb una especial dedicació als possibles efectes del canvi climàtic en la biologia de les tortugues de l'escola (Mireia Cruz).

1.3 Lliurament al CRARC d'exemplars nascuts a l'escola

Fa uns anys s'havien fet alliberaments (al massís del Garraf i a la serra del Montsant) de tortugues nascudes a l'escola, perquè eren tortugues que havien format part d'estudis relativament llargs (procés d'ossificació de la closca, hibernació/no hibernació, creixement...), les havíem tingut alguns anys a l'escola i ja havien assolit les mides mínimes per ésser alliberades. Des de fa sis anys ens neixen molts exemplars cada any i no els podem mantenir a l'escola, de manera que els portem al CRARC, en la visita anual que es fa a l'estiu (juliol o agost), perquè es quedin ja allí fins el moment d'ésser alliberades.

1.4 L'autosuficiència alimentària de la tortuga mediterrània a l'escola.

Aprofitant una millora de la zona de vegetació semiprotegida i un estudi de la radiació incident al pati portats a terme el curs passat, aquest any s'estudiarà la viabilitat de fer créixer plantes heliòfiles al Pati de les tortugues, així com del funcionament del sistema esmentat durant els períodes de vacances, però també, i molt especialment, una relació detallada de les actuacions que es porten a terme quan hi ha algun problema amb les tortugues de l'escola (treball de Carla Duran).

1.5 Document fotocronològic

Es continua portant a terme un registre fotogràfic de les principals tasques i accions realitzades pels alumnes durant el període que dura el seu treball de recerca, ordenades cronològicament, en el mateix format d'anys anteriors (agrupaments generalment de 3 fotografies). La responsabilitat de la part fotogràfica recau, sobretot, en la persona que realitza el treball de recerca de fotografia (treball d'Alba Jiménez).

2. CRONOLOGIA DE LES TASQUES PORTADES A TERME AL PATI DE LES TORTUGUES I DE LES VISITES CONJUNTES REALITZADES DURANT EL PERÍODE QUE VA DES DE FEBRER DE 2019 FINS A NOVEMBRE DEL MATEIX ANY (Document parcial)¹.

04/02/2019 Ja fa uns dies que sabem que la Mireia Cruz, la Carla Duran i l'Alba Jiménez serem les que aquest any durem a terme el nostre treball de recerca (TR) amb el Josep Marí com a tutor, que s'inclouen en el projecte del *Pati de les tortugues* i en el projecte *Treballant la fotografia* de l'escola. El de la Mireia i el de la Carla, relacionats amb la biologia de la tortuga mediterrània, i el de l'Alba amb la fotografia. Per començar a preparar-ho tot hem creat un grup de WhatsApp i una carpeta compartida al Dropbox entre els quatre.

06/02/2019 Tot i no tenir una hora de Treball de Recerca (a partir d'ara TR) assignada pels dimecres avui ens hem reunit amb el Marí les tres alumnes d'aquest any Mireia Cruz, Carla Duran i Alba Jiménez per parlar sobre els continguts dels nostres treballs i el funcionament del material que utilitzarem al llarg dels propers 9 mesos.

15/02/2019 El Marí ens ensenya des de quins llocs i com podem trasplantar dent de lleó i plantatge (espècies vegetals de les que més s'alimenten els nostres rèptils) al pati de les tortugues per quan aquestes despertin (creiem que serà aviat perquè les temperatures estan pujant).



Algunes les hem plantat a la zona delimitada per les fustes (l'anomenada zona de vegetació semiprotegida), però també n'hem col·locat algunes al terra del pati perquè hi tinguin lliure accés les tortugues grans quan despertin de la hibernació.

01/03/2019 Aquest migdia de divendres ens hem dedicat a arreglar una mica el tancat on fins ara han estat hivernant les tres tortugues grans que avui mateix hem deixat lliures pel pati. Hem retirat les fulles seques de dins el tancat i després d'anar a buscar unes quantes dents de lleó i plantatge, les hem plantant i regat, de manera que ja està llest per quan les petites tortugues despertin (unes nou ja ho estan). Pel que fa a les tres grans, les hem pesat i hem intentat que beguessin una mica d'aigua. Finalment hem col·locat les pedres de riu a l'entrada de l'estany que el Pol ha estat arreglant aquestes últims dies, ja que hi havia una fuga d'aigua. L'Alba ha aprofitat per fer algunes fotografies pel pati i de la celebració del carnaval (la setmana passada va ploure) dels alumnes d'ESO i Primària.



¹ El document que es presenta aquí és només una part del document fotocronològic complet, la que es correspon més directament amb aquest treball.

04/03/2019 Avui la Marta Carreras ha portat la tortuga S11 que finalment s'ha mort. Aquesta tortuga tenia una malformació de bec, que té molt mal pronòstic perquè els hi dificulta que puguin menjar bé. Per això la Marta (que havia fet el seu article per Joves i Ciència sobre la tortuga mediterrània) va demanar de mantenir-la amb alimentació assistida (amb una pipeta Pasteur li administrava plantes triturades). Va aconseguir que augmentés una mica de pes, però només va aguantar 3 setmanes. La tenim al congelador del laboratori per si més endavant interessa fer una necropsia.

08/03/2019 Avui ens dediquem a plantar més dent de lleó pels voltants del pati, ja que les tortugues grans ràpidament se l'acaben. També hem plantat plantatge i hem aprofitat per treure la fullaraca acumulada.



25/03/2019 Avui les setze tortuguetes abandonen oficialment el període de la hibernació. Entre tota la classe de biologia les hem pesat abans i després que estiguessin una estona amb aigua, beguessin i fessin les seves necessitats. Han begut generalment bastant i les que els hi ha costat més han estat una estona al sol, la qual cosa ha ajudat molt.



09/04/2019 Avui a les 18:40 h ha caigut a l'escola una gran calamarsada (o més bé pedregada, perquè els grànuls de gel superaven els 5 mm) que ha deixat el Pati de les tortugues gairebé blanc. Nosaltres no hi érem, però ens ha enviat les fotos el nostre tutor i les volem reproduir aquí per deixar-ne constància.



12/04/2019 Avui hem fet molta feina al Pati de les tortugues perquè entrem en vacances de setmana Santa. Hem fet planter de llavors d'alfals en dues safates. Una l'hem deixat a classe de biologia i l'altre al petit hivernacle del pati. Així veurem les diferències, pel que fa a la germinació, depenent de l'indret. Hem retirat tota la fullaraca, endreçat i netejat l'hivernacle, retirat les fulles del basal i hem plantat dent de lleó i plantatge al terrari exterior, on a partir d'avui viuran les tortugues petites.



Hem afegit dent de lleó i plantatge en la zona central del pati i sobretot a la zona de vegetació semiprotegida, on hem obert una comporta i aviat hem vist com una tortuga hi accedia. Ho deixarem obert durant les vacances.



17/04/2019 Aquest matí hem pujat a l'escola i hem comprovat que les llavors de planter d'alfals han començat a germinar, però només les de la safata que està al laboratori, la del pati no.



09/05/2019 Avui aprofitem l'hora del pati per fer la inclinació a la zona de postes amb l'ajuda del clinòmetre que ens indica els graus del pendent, ja que aquesta setmana les temperatures estan pujant molt i les postes es poden iniciar en qualsevol moment. Observem com les tortugues juvenils busquen els indrets més assolellats del terrari exterior.



10/05/2019 L'aspecte positiu del dia ha estat que ens hem trobat una reineta molt fotogrènica al Pati de les tortugues. La negativa és que, mentre trèiem les tortugues petites de la seva gàbia, ens hem trobat que la S1 havia mort. No es trobava en un avançat procés de descomposició però hem observat que la closca estava excessivament tova, la seva temperatura era molt alta i tenia els ulls secs o enfonsats. A més, en una setmana el seu pes només ha variat un gram. Per tant, hem suposat que devia haver mort feia pocs dies.



17/05/2019 Fa un mes aproximadament que vam sembrar l'alfals a les safates artificials; dues, una que s'ha quedat a classe (interior) i l'altre en una zona coberta del pati (exterior). Encara que no han crescut gaire les trasplantem a la zona semiprotegida sense gaires esperances. Hem observat dues de les tortugues grans prenen el sol d'una manera curiosa.



22/05/2019 Ens hem adonat que unes branques de robínia fan ombra a la zona de postes. Amb l'ajuda del Pol aconseguim treure les ombres, però no ha estat fàcil.



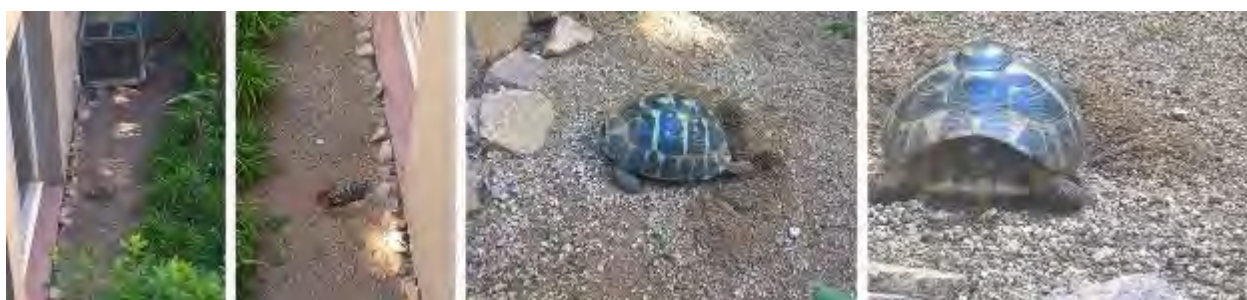
Al moure l'arbre on hi havia la caixa niu més gran, la comporta de la mateixa ha caigut. De manera que el Pol l'ha tret del tot per arreglar-la. Però, és clar, sense la tapa es veu l'interior de la caixa niu. I hi havia ous, possiblement de mallerenga blava (el Pol havia vist fa un parell de setmanes com hi entrava un ocell blau).



Avui també hem preparat tots els enregistradors de dades (dataloggers), canviant la pila a tots ells. N'hi ha 6 que es queden a les incubadores i un al pati, amb les sondes enterrades a la profunditat on les tortugues deixen els ous (es va aprofitar el forat d'un niu del curs passat).



30/05/2019 La femella gran ha posat els seus primers ous de la temporada; ens n'hem adonat sortint de l'última classe de la tarda i no ens hem pogut quedar. Sabem però, pel Marí, que ha acabat fent la posta, però que entremig ha estat una bona estona immòbil, descansant. Demà ens n'ocuparem bé!



31/05/2019 Avui al migdia hem baixat al pati per traslladar els ous a les incubadores. N'hem trobat cinc, en un clot no gaire gran i situat a la zona habitual de postes. Els hem netejat, numerat, pesat i repartit entre les dues incubadores: tres a la de l'esquerra (1,2,3), que és el tractament de temperatura alta (32,2°C) per obtenir femelles i els altres dos a la de la dreta, corresponent al tractament de la temperatura pivotant (31,5°C). El Pol ens ha comentat que va sentir un dels ous picar contra els altres i, després de comprovar-ho, hem vist que el número cinc té una petita esquerdada que de moment no sembla ser perillosa.



Després de pesar i posar-los a incubar, la Mireia i el Marí han baixat a comprovar com estaven les juvenils. Van observar que la S9 es movia molt poc i van decidir pujar al laboratori la S9 i les que havien augmentat menys de pes, per hidratar-les i les van deixar uns dies en observació al terrari del laboratori. I hi van afegir unes quantes plantes de dent de lleó dins d'un pot amb aigua mig enterrat en el substrat, perquè aguantessin fresques més temps.



02/06/2019 Primera posta de la tortuga mitjana, de 4 ous. Seguim el procediment habitual i introduïm la meitat dels ous a cada una de les dues incubadores.



07/06/2019 Totes les tortugues juvenils augmenten de pes correctament excepte la S9, que ha perdut un 11 % del seu pes en una setmana. L'hem posat en un plat amb aigua i ha begut força, després l'hem deixat

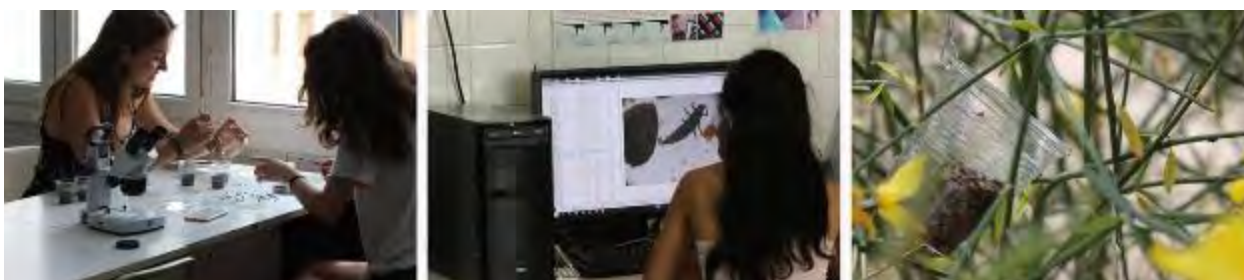


dins una capsa amb aigua i fulles tallades en trossets petits mentre baixàvem a pesar les petites del terrari exterior. Mentre érem al pati hem trobat una mena de vespa molt gran i vistosa i l'Alba no ha parat de fer-li fotos. La Carla s'emportarà la tortuga S9 perquè hem vist que sola no menja i la Marta Carreras ens ha dit com realitzar una alimentació assistida (més informació en el TR de la Carla). Hem tornat al terrari exterior les altres tortugues que estaven amb la nou, hem pesat a les adultes i hem plantat dent de lleó. Abans i després de dinar l'Alba ha fet alguna foto més de la vespa (més informació en el TR de l'Alba).

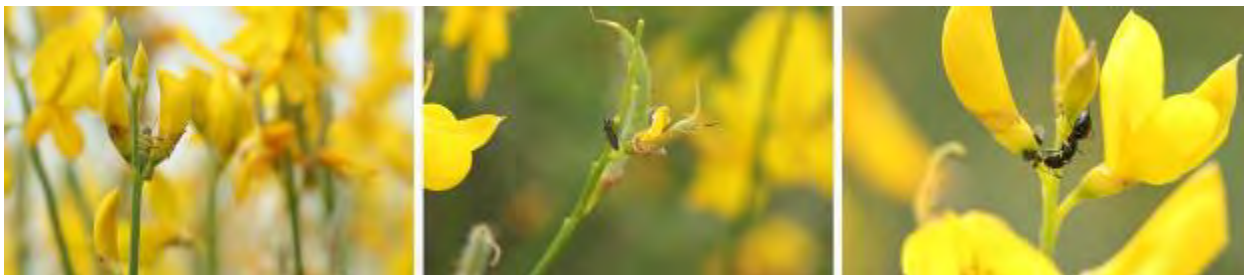
21/06/2019 Avui abans d'arribar a escola el Marí ens informa que la femella gran torna a excavar niu. S'està bastantes hores i quan cap a les dotze del migdia anem a buscar-los, veiem que no ha tapat bé el forat, fet que ens anticipa que segurament no haurà posat ous, malgrat haver baixat 60g com en la darrera posta. És possible que no ho hagi aconseguit perquè hem vist que en el forat hi havia algunes arrels. Pesem les tortugues grans i les petites i l'Alga entra a dintre del terrari per poder fotografiar les petites molt de prop mentre estan menjant els canonges que els acabem de donar.



Avui, a més a més, toca repartir les larves de marieta de dos puntes (*Adalia bipunctata*) per controlar, de manera natural, el pugó que s'instal·la en algunes zones. Venen totes en un sol pot i quan les traïem d'aquest, comencen a despertar-se. Les repartim en 5 gots de plàstic transparent (que els hi posem un tros de filferro folrat de plàstic per poder-los lligar a les plantes), dos dels quals van al pati de Primària, a la zona de la muntanyeta, un al Pati de les tortugues i un altre a l'entrada de l'escola. Però abans l'Alba els hi fa una foto i l'amplia a la pantalla de l'ordinador per observar millor la seva morfologia.



L'Alba descobreix que entre les flors de ginesta hi ha molta vida i fa un munt de fotografies macro.



Quan marxem veiem que la femella està tornant a fer un clot per posar els ous, aquest cop més cap a la paret sud.

4/07/2019 Visita anual al CRARC. Abans de marxar fem una fotografia de les tortugues que lliurarem en visió dorsoventral i també ventrodorsal, per mostrar que totes presenten la coloració fosca típica de l'espècie. Ens acompanya la Sofia Domènech, que va fer el ser treball de recerca l'any passat sobre l'optimització de la zona de posta d'ous del pati i no va poder assistir a la visita l'estiu passat. Ens enduem les tres tortugues grans per la seva revisió anual, tots els exemplars juvenils (la S9 i la S2 de manera separada), i la tortuga S1, que vam congelar després de trobar-la morta, per fer-li una necròpsia.



Hem arribat al CRARC i el Marí ens ha presentat al Joaquim Soler (Director tècnic del CRARC), que ens ha dit on havíem de deixar les capses amb les nostres tortugues fins que ens avisessin per la pràctica del curs. Hem començat a voltar per les instal·lacions però de seguida ens han cridat. L'Albert Martínez-Silvestre (director científic del CRARC) utilitza les nostres tortugues per ensenyar al grup que forma part del curs de manipulació de rèptils com es du a terme una revisió d'aquest tipus. També els explica la col·laboració amb l'escola i ens fa diverses preguntes sobre les tortugues. Comencem amb l'ecografia de les femelles. Com que aquest any fem la visita a principis de juliol les tortugues només han fet dues postes i és possible que veiem els ous de la tercera. La Carla aguanta a la femella gran mentre l'Albert aplica el gel i du a terme l'ecografia, en la que podem veure un ou ja format i potser alguns en procés de formació (més informació en el TR de la Carla).



La femella petita l'aguanta la Sofia mentre l'Albert fa l'ecografia. Aquest cop podem veure dos ous. El Marí comenta que és la primera vegada que es veuen ous ben formats.



Tot seguit prosseguim a administrar l'antiparasitari a les tres tortugues grans. L'Albert ens explica que optem entre dos mètodes per fer-ho: la injecció d'una primera dosi d'antiparasitari (mètode que seguim



normalment) que haurem de complementar amb una segona dosi al cap d'una setmana, i l'aplicació d'una tira d'esparadrap amarada del producte sota d'una de les potes de la tortuga de manera que pot traspasar les escames a poc a poc. Aquest segon mètode no necessita una segona dosi i, per demostrar la seva aplicació al grup del curs, l'Albert l'aplica a la femella gran. Les altres dues tortugues reben injeccions.



Per acabar, l'Albert fa la necròpsia de la tortuga S1. Abans de començar comenta que les hemorràgies externes de la closca podrien ser degudes a una mala alimentació o a una infecció bacteriana o vírica i destaca la possibilitat que es tracti d'un picornavirus que, de moment, no s'ha detectat en exemplars de tortuga mediterrània dins de la península Ibèrica. Ens proposa fer una prova de PCR (Reacció en cadena de la polimerasa), sobretot per descartar que es trobi el picornavirus, perquè en cas afirmatiu seria molt greu i s'hauria de fer un tractament molt agressiu a tot el Pati de les tortugues (més informació en el TR de la Carla).

08/07/2019 A l'arribar a l'escola hem vist com la tortuga gran està acabant de tancar el niu de la tercera posta. Un total de 4 ous i amb aquests, una suma de 22. Amb l'ajuda de la Núria Rodríguez els traiem, netegem, pesem i marquem, col·locant-ne dos a cada incubadora. Esperem que d'aquí pocs dies la tortuga petita faci la seva última posta.

10/07/2019 Avui fem una plantació important de xicoira a la zona de vegetació semiprotegida. En plantem uns dotze exemplars extrets del pati de Primària i els col·loquem en fila al llarg de la part esquerra. A més a més, plantem alguns exemplars de dent de lleó i plantatge.



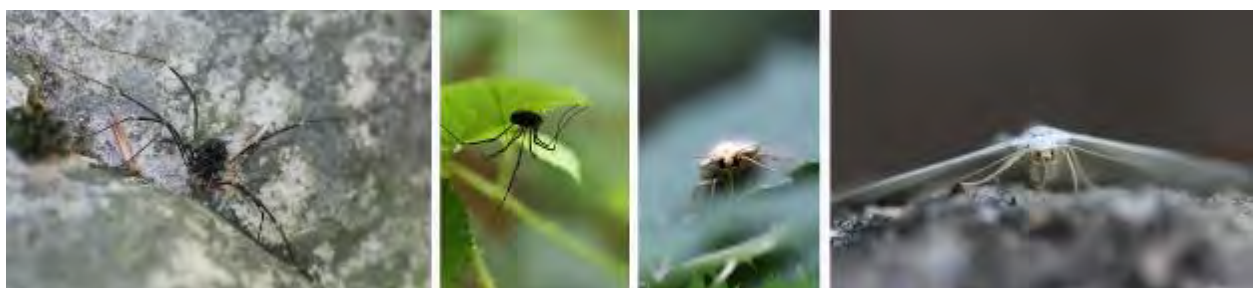
I avui la novetat és el crespinel·l, que el pugem a buscar al terrat de l'escola, on en trobem bastant. I el Marí aprofita per fer una foto de l'interior del pluviòmetre de l'estació meteorològica principal per comprovar que estigui ben net. Està net, però hi ha una teranyina que decideix treure.



Agafem crespinel·l (una bossa sencera), però aquest no el plantem a la zona de vegetació semiprotegida, sinó al voltant, al costat del ginkgo. Esperem també la tercera posta de la femella petita. El bassal ha baixat molt de nivell, per la qual cosa mentre aprofitem per retirar la fullaraca acumulada durant setmanes, deixem la mànega connectada perquè s'ompli.



11/07/2019 Ahir a la tarda el Pol ens va enviar una foto per saber exactament la zona on la femella petita va posar els que segurament seran els últims ous d'aquesta temporada. N'hem trobat 4, en total en tenim 26. Avui repetim el procés fins col·locar-los a les incubadores. Pesem les tres tortugues i reguem bé el pati.



19/07/2019 Ha sortit la revista semestral del Col·legi de biòlegs de Catalunya i el Marí ens ha enviat la portada perquè és d'una foto feta per una exalumna a l'escola (Sònia Marías) quan feia el seu treball de recerca i que va presentar al concurs Bioimatges. S'ha fet una reorganització de la situació dels ous a les caixes de les incubadores perquè a dins d'una caixa no es barregin ous de dues tortugues, amb l'objectiu d'evitar possibles confusions, ja que és important pels tractaments i pel seguiment de l'eficiència reproductora de cada tortuga femella (més informació en el TR de la Carla). Avui també s'han arrencat dos exemplars de robínia (*Robinia pseudoacacia*) de la zona E de les enfiladisses i s'ha regat a fons la zona de vegetació semiprotegida on havíem plantat el plantatge de fulla ampla perquè ja patien un estrès hídric important.



23/07/2019 Avui apliquem la segona dosi d'antiparasitari a les tortugues grans. No ha estat fàcil perquè ha costat que obrissin la boca, sobretot el mascle. Però al final ho hem aconseguit.



24/07/2019 Avui la Carla puja a l'escola amb l'Enric Vila i entre els dos trasplanten al Pati de les tortugues la rosa de Síria (*Hibiscus syriacus*), el magraner (*Punica granatum*) i les enfiladisses que vam comprar uns dies abans a Mataró.



05/08/2019 Ahir van néixer CM1 i CM2 i avui ho han fet CM3 i CM4, corresponen a la primera posta de la tortuga mitjana. Totes bé sense cap malformació ni duplicació de plaques. De la primera posta de la tortuga gran no n'ha nascut cap. Es posa aigua al terra de les incubadores, per sota de l'escuma. Entre una cosa i l'altra les incubadores han estat destapades una bona estona.



14/08/2019 Avui pugen la Mireia i el Marí i preparen el terrari amb dent de lleó amb arrels a dins d'un flascó amb aigua perquè aguantin més temps, planten pastanagues senceres i obren la comporta de la zona de vegetació semiprotegida. També buiden el dipòsit de l'antimosquits al bassal.



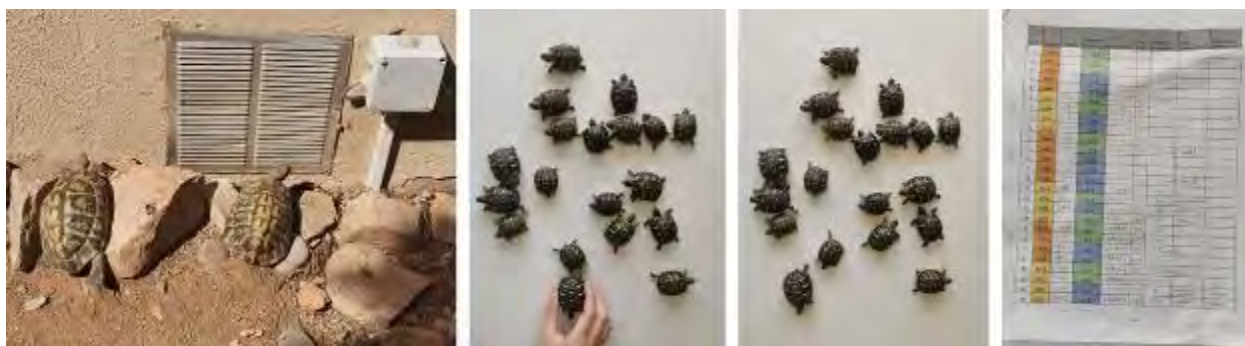
04/09/2019 Hem observat com les tortugues petites, des del seu naixement, segueixen un ritme diari d'enterrar-se en el substrat durant la nit (la foscor del laboratori) i sortir de dia (quan s'encenen els llums amb el rellotge temporitzador). Quan arribem al matí (9:00h), sembla que hagin desaparegut, només es veu el cap d'alguna, mentre que a mig matí (11:00h) ja estan totes desenterrades i menjant.



06/09/2019 És divendres i el Marí ens ha dit que ha nascut una altra tortuga i dues estan en camí, així que puguem per marcar-la, pesar-la i deixar-la al terrari del laboratori amb les altres 11. Aprofitem per donar de menjar tant a les petites com a les grans i reguem bé el pati perquè aquests dies amb la calor tot està

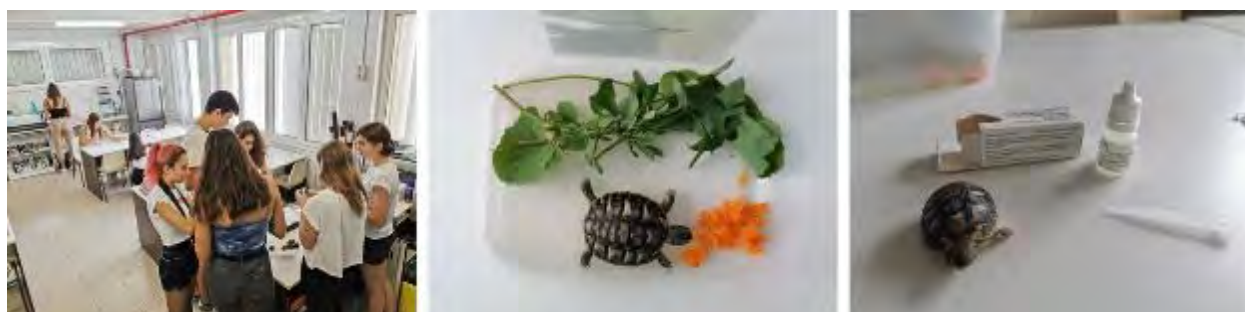
molt sec. La vegetació de la zona semiprotegida s'ha assecat bastant també, així que la setmana que ve haurem de trasplantar alguns exemplars. De moment plantem unes quantes pastanagues.

17/09/2019 Observem com les tortugues grans es situen a la zona més càlida del pati, al costat d'on estan enterrats els sensors de temperatura. Després el Marí ens ha demanat que fotografiem el conjunt de tortugues que han nascut aquest estiu (19 en total) perquè ho necessita per una pràctica de 2n d'ESO. També comprovem el full de dades on hem anat apuntant les observacions dels naixements.



24/09/2019 Un alumne de biologia de 1r de batxillerat (Robert Soliva) comenta que una tortuga de les petites té un ull tancat i inflat. Després de classe el Marí ho comprova, és la tortuga CM7, i la deixa aïllada de la resta de tortugues en un recipient de plàstic.

25/09/2019 Dediquem la primera mitja hora de classe de biologia de 2n de batxillerat a comprovar molt acuradament, amb l'ajuda dels companys de classe, si hi ha alguna altra tortuga afectada. Mentrestant, nosaltres revisem en llibres del laboratori les característiques d'una infecció ocular i trobem, entre altres coses, que pot ser afavorida per una manca de vitamina A i li posem pastanaga rallada. El Marí ha trucat al CRARC i ha parlat amb l'Albert Martínez-Silvestre i li ha dit que comencéssim, de moment, a aplicar-li un antibiòtic i que si li portàvem aquesta mateixa tarda es podria agafar una mostra per fer una anàlisi microbiològica (més informació en el TR de la Carla).



Aquest migdia, amb l'ajuda del Pol i el Carlos, hem revisat l'interior de 3 caixes niu del Pati de les tortugues amb una càmera endoscòpica de cable llarg connectada a un portàtil. Sobretot interessava la que veiérem



els ous de mallerenga blava (vegeu AF del dia 22/05/2019). No s'ha observat moviment en cap d'elles. No obstant, un dia l'obrirem per comprovar si trobem senyals que els pollets hagin sortit.

En acabar les classes, a les 16:30, agafem la tortuga CM7 i l'antibiòtic i ens dirigim al CRARC amb el cotxe del Marí. Quan arribem l'Albert ja ens està esperant i ens va ensenyant com obrir-li l'ull a la tortuga i com agafar la mostra amb un hisop estèril.



També ens explica el tub amb medi que s'utilitza per mantenir-la estable fins el moment de la anàlisi. Per últim ens explica com hem d'aplicar l'antibiòtic perquè li arribi a l'interior de l'ull i ens dona instruccions de com fer el seguiment, mentre no arribin els resultats de l'anàlisi microbiològica (més informació en el TR de la Carla).



27/09/2019 Al migdia el Pol ens ha baixat la caixa niu per comprovar l'interior. Hem observat bastantes restes de closques d'ous i absència d'esquelets. Això vindria a indicar que els pollets van néixer i van sortir de la caixa niu.



A primera hora de la tarda hem preparat per fer la dissecció dels ous dels que no havia nascut cap tortuga. Ens hi acompanya l'Anna Carreras. Dels 7 ous que no havien eclosionat, el 5 de la primera posta (corresponents a la tortuga gran) i dos de la tercera posta (també de la tortuga gran), només en quedaven 6 perquè un havia explotat a l'interior de la incubadora la setmana passada. D'aquests 6, s'ha observat

embrió en 3 (sense poder apreciar bé els detalls) i en tres no; d'aquests últims, un no estava fecundat perquè encara hem pogut observar el rovell pràcticament intacte.



Avui també hem descarregat les dades de tots els dataloggers, els de les incubadores i el que estava enterrat a l'interior d'un niu al Pati de les tortugues (més informació en el TR de la Carla i en el TR de la Mireia).

03/11/2019 El proper dimecres és l'entrega definitiva de les tres còpies dels nostres treballs de recerca. Adjuntem una còpia de les tres portades.



Agraïments

En primer lloc, vull agrair al meu tutor, Josep Marí, tota la seva dedicació i ajuda, i per haver-me guiat en el desenvolupament d'aquest treball de recerca.

A Joaquim Soler i Albert Martínez-Silvestre, responsables de la direcció del CRARC de Masquefa, per la seva col·laboració i ajuda amb els aspectes relacionats amb les tortugues.

A Laboratoris Almirall I+D de Sant Feliu de Llobregat per col·laborar, amb la seva subvenció, amb els enregistradors electrònics de temperatura i humitat (*Dataloggers Escort iLog*).

Al Pol Haro, al Carlos Iglesias i a la Marta Rius, per obrir-nos les portes de l'escola a l'estiu per cuidar de les tortugues petites.

Al Jordi Cruz, tècnic del servei Meteorològic de Catalunya, per proporcionar-me dades sobre el clima mediterrani i les projeccions climàtiques a Barcelona al llarg del segle XXI.

A tots els alumnes que han participat en el projecte del Pati de les Tortugues, per proporcionar-me les dades històriques necessàries sobre la hibernació i incubació de les tortugues.

I finalment, a les meves companyes de recerca, Carla Duran i Alba Jiménez, per haver compartit sortides i treball de camp, i per tot el suport i l'ajuda durant aquesta experiència tan enriquidora.