

## Full de treball de l'alumne sobre la successió ecològica

El concepte de successió ecològica es refereix als canvis en la composició i estructura de les espècies d'una comunitat al llarg del temps. En el projecte VIRTUE-s, observem la successió en discos col·locats en un medi aquàtic (el mar, un llac o un riu): després d'algun temps, els primers organismes s'adhereixen als discos i -depenent de la temporada i la ubicació geogràfica- arriben més organismes i comencen a competir amb els primers organismes per recursos com la llum, l'espai o l'aliment. Aquest procés s'anomena successió primària.

Aquest full de treball és un exercici sobre com es pot estudiar la successió utilitzant els discos VIRTUE. Aprendre a visualitzar i interpretar els resultats obtinguts en un projecte d'exemple.

El full de treball:

- formularà les preguntes de l'estudi,
- et proporcionarà alguna informació prèvia sobre els mètodes utilitzats (que pots necessitar per a la interpretació dels resultats més endavant),
- i et donarà les dades registrades en l'experiment.

La teva tasca serà:

- observar les dades,
- interpretar-los (usant algunes preguntes i consells per a ajudar-te en el camí), i
- trobar informació addicional en Internet si és necessari.

En particular, l'últim punt és important, perquè - a diferència de l'ensenyament a l'aula - en l'ensenyament "virtual" t'animem explícitament a trobar i utilitzar recursos de la web per a fer front a les teves tasques.

### I. Objectius de l'estudi

En aquest full de treball utilitzarem les dades d'un projecte estudiantil que va tenir lloc en 2018 en una zona temperada. Els objectius d'aquest projecte eren:

1. observar l'ordre cronològic de l'aparició dels organismes en els discos;
2. registrar els canvis de l'estructura de la comunitat i la biodiversitat en els discos al llarg del temps;
3. determinar si existeixen diferències en el desenvolupament d'una comunitat en la part superior i inferior d'un disc.

Les mateixes preguntes s'abordaran aquí basant-se en les dades registrades pels estudiants en aquest projecte.

---

<sup>1</sup> Pel contrari, s'observa una successió secundària en les comunitats que han estat objecte d'una pertorbació com un incendi forestal salvatge o una desforestació completa. Això pot comparar-se amb un disc que anteriorment albergava organismes però que es va assecar ja que va ser tret de l'aigua durant molt de temps, resultant en la mort de tots els organismes originals que creixien sobre ell.

## II. Materials emprats i Metodologia d'Anàlisi

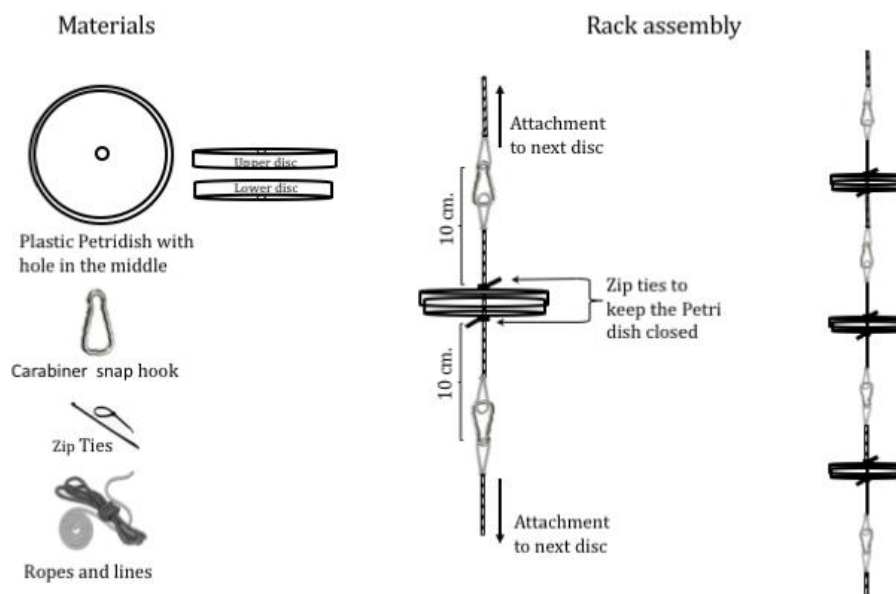
Per a proporcionar alguns coneixements previs sobre el procediment experimental, en aquesta secció es descriuen els materials i els mètodes utilitzats. Observi's que part d'aquesta informació pot ser d'importància per a les seccions IV i V, quan intentem interpretar les dades.

### II.1 Materials per al Projecte:

- Discos i estructures
- Galledes i plats
- Termòmetre
- Refractòmetre (per a mesurar la salinitat)
- Balança de cuina (per a mesurar el pes)
- Càmeres; Càmeres de microscopi
- Microscopis estereoscòpics
- Reixetes de comptatge de PVC (de construcció pròpia)
- Fulles de protocol

### II.2 Muntatge de l'estructura de discos

En el projecte es va decidir que l'experiment duraria diverses setmanes, i que es col·locaria un nou disc cada setmana. Per tant, la construcció dels bastidors havia de tenir això en compte.



*Figura 1: Muntatge de les estructures usant plaques de Petri de plàstic*

Els discos i bastidors utilitzats per a l'experiment eren nous. Estaven fets de plàstic (poliestirè) i es van utilitzar els mateixos materials durant tota la recerca. La construcció es mostra en la figura 1. Unes plaques de petri amb orificis en el mitjà es van utilitzar com a discos i es van unir a línies curtes de plàstic. Aquestes van ser connectades entre si usant mosquetons d'acer inoxidable. Es va col·locar un pes al final del suport perquè la construcció es mantingués sota l'aigua. Es van penjar un màxim de tres parells de discos de cada línia.

Amb aquesta configuració va ser possible afegir parells successius de discos a una línia existent sense pertorbar els discos més antics. Es va preparar un parell de discos (part superior i inferior de la placa de petri, vegeu la Figura 1) per a cada data de desplegament.

Per a l'etiquetatge dels discos, es van utilitzar dos mètodes per a assegurar una identificació adequada més endavant:

- Es va fixar una cinta de tela etiquetada (utilitzant un marcador permanent) en la part interior dels discos.
- Es van fixar cintes de cremallera codificades per colors en les línies que es troben damunt dels discos.

### II.3 Col·locació de les estructures de discos

Abans d'iniciar el projecte es va decidir que els discos es col·locarien durant 10 setmanes consecutives en la primavera (26 de març al 28 de maig). El lloc d'estudi era un moll als afores del Centre Helmholtz de Recerca Oceànica de GEOMAR en Kiel, Alemanya, en un port protegit amb molt poca activitat de vaixells.

Es va col·locar un disc en cada data prefixada afegint-lo a una línia nova o existent.

- Els discos es col·locaven a uns 0,5 - 1,5 metres de la superfície de la mar per a assegurar que el bastidor estigués sota l'aigua en tot moment.
- La posició dels discos es canviava de tant en tant de manera que cada disc havia de canviar de posició aleatòriament al llarg de la línia (a dalt, al mig o a baix) durant la durada del projecte. Això es va fer per a eliminar els efectes de llum i profunditat.

### II.4 Mesura de paràmetres ambientals

Per a registrar els canvis de temperatura i salinitat de les aigües superficials, aquests paràmetres es mesuraven cada setmana quan es col·locava un nou disc. Es recol·lectava l'aigua de mar amb un cubell a l'àrea d'estudi i la temperatura es mesurava de seguida amb un termòmetre. La salinitat es determinava amb un refractòmetre.

### II.5 Recuperació de les estructures de discos i anàlisi quantitativa dels discos

- La recuperació de l'estructura (tots els discos al mateix temps) va tenir lloc una setmana després de la col·locació de l'últim disc. (Així, els primers discos havien estat en l'aigua durant les 10 setmanes completes des del 26 de març al 4 de juny, mentre que els últims discos (més recents) només havien estat en el mar durant 1 setmana, és a dir, des del 28 de maig al 4 de juny).
- Els bastidors es van transportar al laboratori en galledes plenes d'aigua de mar. Una vegada a lloc, els bastidors van ser desmantellats i es van separar els discos superiors i inferiors.
- Els estudiants es van dividir en equips. Cada equip era responsable d'un grup de discos (superior i inferior).
- Els discos (superior i inferior) van ser col·locats individualment en plats profunds etiquetats i submergits en aigua de mar.
- El percentatge dels discos coberts amb organismes incrustants es va estimar utilitzant la guia per a l'Estimació Visual del Percentatge de Cobertura<sup>2</sup>
- Es va fer una identificació inicial dels organismes.
- Es va estimar la biomassa:
  - Es va permetre que els discos s'asseguessin per degoteig.
  - Cada disc va ser pesat per separat en la balança de la cuina.
  - Els resultats es van registrar en una fulla de protocol.

---

<sup>2</sup> Pots descarregar la guia per a l'Estimació Visual del Percentatge de Cobertura aquí: <https://virtues.eu/ca/contingut-en-catala/estimacio-visual-del-percentatge-de-cobertura>

Es va restar el pes d'un disc de referència sec per a obtenir el pes de la biomassa (humida).

- Es van prendre fotos dels discos per a la documentació i la posterior estimació del percentatge de cobertura, ja sigui visualment (com a control) o utilitzant un programa de

processament d'imatges.

- Recompte d'organismes:

- Els discos (encara submergits en aigua) es van col·locar sota el microscopi estereoscòpic.
- Es va col·locar una reixeta de comptatge en la part superior del disc.
- Els discos es van examinar primer sota el major augment del microscopi estereoscòpic per a identificar les espècies principals.
- Després, es va utilitzar un augment que va permetre veure un quadrant sencer en la quadrícula mentre es reconeixien els organismes.
- Els organismes en diversos quadrants a l'atzar es van comptar manualment.
- Els resultats es van registrar en la fulla de protocol.
- A partir dels números obtinguts per als quadrants aleatoris, les dades es van extrapolar a l'àrea total del disc.

Només es van comptar els organismes que podien assignar-se clarament a un disc en particular. (No es van considerar les espècies "visitants" que podrien haver-se desplaçat d'un disc a un altre durant el transport). En aquest experiment, els organismes per a l'anàlisi van ser balànids, poliquets i pòlips. A més, es va estimar visualment el percentatge del disc cobert per macroalgues filamentoses, que són difícils de comptar individualment.

### III. Dades de l'experiment

#### III.1 Factors ambientals

A la Taula 1, es troben les dades de temperatura i salinitat en cada data de col·locació dels discos:

Data de col·locació	Temperatura (°C)	Salinitat (ppt)
26. Mar.	2.5	15.3
3. Apr.	4.7	12.0
9. Apr.	7.0	12.0
18. Apr.	8.4	14.0
23. Apr.	7.2	14.0
30. Apr.	10.0	14.5
7. Mai	12.5	13.0
15. Mai	12.7	11.0
22. Mai	14.0	12.0
28. Mai	16.6	12.5

*Taula 1: Dades de temperatura i salinitat*

(Aquestes dades estan disponibles en els arxius Table1.ods y Table1.xlsx)

Observa que la unitat "ppt" de la Salinitat es refereix a "parts per mil". (En sentit estricte, la salinitat s'expressa com una fracció de massa de sal dissolta en grams per quilogram d'aigua de mar).

#### III.2 Biomassa

En la Tabla 2 es troben dades de biomassa (en grams) dels discos al temps de les anàlisis.

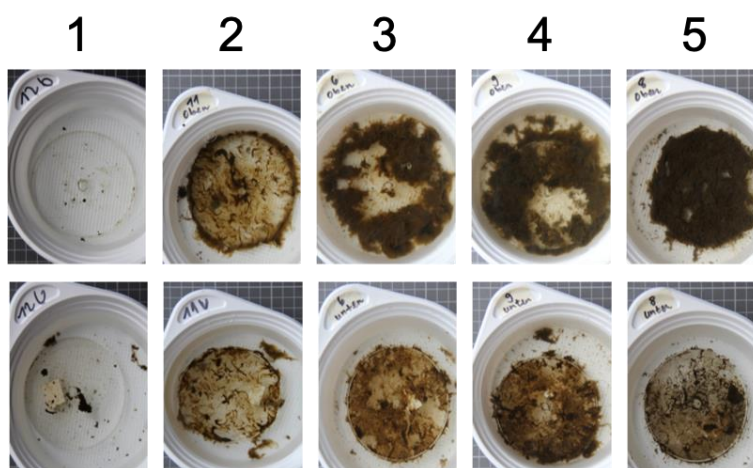
Setmanes a l'aigua	Biomassa (g)	
	Disc superior	Disc inferior
1	0.3	1.0
2	2.8	3.1
3	12.6	9.6
4	9.3	9.4
5	16.5	12.7
6	20.5	11.9
7	21.2	13.0
8	20.8	15.2
9	26.6	16.8
10	21.0	8.0

*Tabla 2: Dades de biomassa (pes humit)*

(Aquests dades estan disponibles en els arxius Table2.ods y Table2.xlsx)

### III.3 Percentatge de cobertura

Aquí, us ensenyem fotografies de discos que es van mantenir l'aigua durant 10 setmanes des de mitjan Abril fins a finals de Maig (Figura 2).



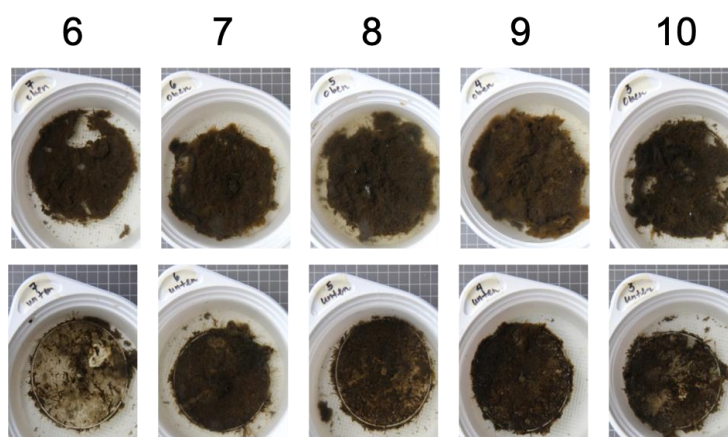


Figura 2: Fotografies dels discos superiors i inferiors (a la fila superior i inferior de cada parell). Els números indiquen les setmanes en l'aigua (parells superiors setmanes 1 - 5, parells inferiors setmanes 6-10).

(Les imatges originals estan disponibles als arxius Photos\_of\_Discs\_Week1-5.png y Photos\_of\_Discs\_Week6-10.png.)

### III.4 Identificació d'espècies i recompte

Utilitzant les plaques d'identificació d'espècies<sup>1b</sup>, es va fer la identificació i el recompte dels organismes. A excepció de les algues, per a les quals es va estimar un percentatge de cobertura, els organismes en els discos es van comptar manualment a través del microscopi estereoscòpic. Els valors donats en la Taula 3 són el nombre total d'individus observats en un disc. Per a la casella ombrejada en grisa, els estudiants no van lliurar cap resultat

Setmanes a l'aigua	Algues		Balànids		Pòlips		Poliquets	
	[%]		(número d'individus)		(número d'individus)		(número d'individus)	
	Disc superior	Disc inferior	Disc superior	Disc inferior	Disc superior	Disc inferior	Disc superior	Disc inferior
1	2	5	0	0	0	0	0	0
2	55	55	0	0	0	0	0	0
3	55	55	0	0	0	0	0	0
4	45	40	0	0	0	49	0	0
5	35	10	0	0	83	0	187	22
6	87	28	0	2	7	69	216	22
7	65	40	10	20	109	60	886	766
8	60	40	14	51	17	24	1116	724
9	95	85	32	16	24	62	1061	722
10	90		3	292	58	166	1893	1926

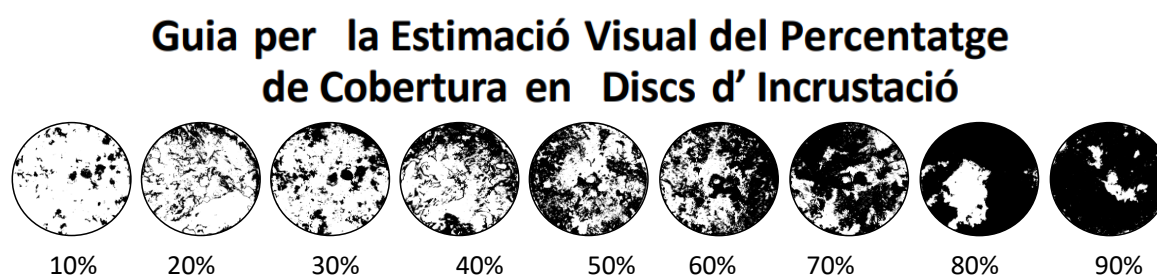
Taula 3: Abundància de les diferents espècies: les algues es van estimar com a percentatge de cobertura, per als altres organismes es van entrar els números totals en els discos.

(Les dades estan disponibles en els arxius Table3.ods i Table3.xlsx)

## IV. Anàlisi i presentació de les dades

La teva tasca ara és analitzar les dades obtingudes d'aquest projecte. Per a això, les dades estan disponibles a format de full de càlcul per a LibreOffice, OpenOffice i Excel (vegeu els arxius citats anteriorment). Totes les següents tasques poden ser resoltes utilitzant qualsevol d'aquests programes. En cas de dubte, consulti un tutorial per al programari de la seva elecció. (YouTube té una àmplia selecció de guies visuals, i hi ha molts consells en els fòrums). Totes les tasques gràfiques també es poden fer en paper amb un llapis i una regla.

1. Crear un gràfic de sèries de temps (gràfic de barres o gràfic lineal) per a la temperatura i la salinitat.
2. Crear un gràfic de barres (gràfic de columnes) de les sèries temporals dels valors de la biomassa en els discos superiors i inferiors amb la informació de temps com "setmanes en l'aigua" en l'eix "x".
3. Estimar el percentatge de cobertura dels discos que es mostra en les fotos anteriors (Figura 2, proporcionada en els arxius Photos\_of\_Discs\_Week1-5.png i Photos\_of\_Discs\_Week6-10.png). Per a l'estimació visual, utilitzi la guia que es troba a continuació (Figura 3, proporcionada en l'arxiu Visual\_Estimation\_of\_Percentage\_Cover). Crea una nova taula per al percentatge de cobertura similar a la Taula 2. Traça els gràfics de barres amb les dades de la taula.



*Figura 3: Eina per a l'estimació visual del percentatge de cobertura*

Si es treballa en equip, cada membre de l'equip pot fer la seva pròpia estimació del percentatge de cobertura i comparar els resultats de tots després. Es poden calcular les diferències entre les estimacions de l'equip i a partir d'elles estimar el marge d'error mitjà d'aquest mètode.

4. Crear una gràfica de dispersió de la biomassa en l'eix "y" contra el percentatge de cobertura en l'eix "x" per a les dades dels discos superiors. (Opcionalment, fes que el programari del full de càlcul afegixi la línia de regressió i deixa que calculi el coeficient de correlació<sup>1</sup>)
5. Traça els resultats de la taula 3 de diferents maneres:
  - Traça el percentatge de cobertura d'algues i el nombre d'organismes de cada espècie en funció del temps en gràfics de barres individualment per a cada espècie. Diferència entre els discos superiors i inferiors.
  - tasca opcional: Combina els diagrames de tots els organismes en un gràfic per al disc superior i inferior respectivament. Utilitza una escala logarítmica per al nombre d'organismes i un segon eix "y" lineal per al percentatge de cobertura de les algues.
6. Compta quantes espècies diferents són presents en els discos cada setmana (aquesta vegada, no és necessari diferenciar entre el disc superior i inferior) i construeix un diagrama que mostri el canvi en la riquesa d'espècies (nombre d'espècies) amb el temps.
6. Calcular l'Índex de Diversitat de Simpson per als discos superiors i inferiors més antics. Bàsicament, l'Índex de Simpson és una mesura de la probabilitat que dos individus seleccionats a l'atzar d'una mostra no siguin de la mateixa espècie. Va de 0,0 (cap probabilitat perquè tots els

<sup>1</sup> Si no tens familiaritat amb aquests càlculs, mira <https://milnepublishing.geneseo.edu/natural-resources-biometrics/chapter/chapter-7-correlation-and-simple-linear-regression/> per a una bona introducció. Aquí pots trobar un vídeo tutorial per a aplicar això en un full de càlcul [https://www.youtube.com/watch?v=f4\\_GwWdUNqI](https://www.youtube.com/watch?v=f4_GwWdUNqI).

individus són de la mateixa espècie) a 1,0 (100% de probabilitat). Per a calcular l'índex, utilitza la fórmula:

$$D = 1 - \frac{\sum_i^I n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

D=Índex de Diversitat de Simpsons

$n_i$  = Nombre d'individus d'espècie i

I = Nombre total d'espècies

N = Nombre total d'individus de totes les espècies.

Amb això, es pot comparar la biodiversitat del disc superior i inferior al final de l'experiment (setmana 10) utilitzant les dades del projecte (utilitza només poliquets, pòlips i balànids)

## V. Interpretació dels resultats

Utilitzant els diagrames que has creat abans, ara estàs llest per a interpretar els resultats del projecte. En la secció V.2 donem algunes pistes que t'ajudaran en aquest anàlisi i es proporcionen algunes paraules clau per a obtenir informació addicional sobre els diferents organismes que pots trobar a Internet.

**Important:** les dades presentades aquí són les dades originals del projecte dels estudiants. No han estat alterades per a que es vegin millor, ni manipulades per a reflectir situacions de llibres de text idealitzades. Contenen incerteses de mesurament, errors de comptatge i també falten dades. Per tant, reflecteixen la situació real del projecte dels estudiants on això és el que cal treballar. Com a conseqüència, en moltes interpretacions no hi haurà un "correcte" o "incorrecte" ben definit. El que busquem és més aviat un "potser": utilitza les dades, tracta de veure patrons i tendències, però també discuteix les possibles fonts d'error o incerteses. Explica on els resultats s'ajusten a les teves expectatives i a la teoria biològica i on difereixen. Aprofita al màxim les dades que tens.

### V.1 Tasques

Discuteix els següents temes:

1. Com canvien la temperatura i la salinitat al llarg de la durada de l'experiment?
2. Compara el canvi de la biomassa amb el temps en els discos superiors i inferiors. Quines característiques són dignes d'esmena? Interpreta les teves observacions.
3. Veus alguna relació entre la biomassa i el percentatge de cobertura dels discos? Explica-ho. (Opcionalment: Com de bé es correlacionen la biomassa i el percentatge de cobertura dels discos? Què significa això?)
4. Descriu i discuteix el creixement de les quatre espècies: quin desenvolupament hi ha en funció del "temps en l'aigua"? I en relació amb els discos superiors i inferiors?
  - a. algues
  - b. poliquets
  - c. pòlips
  - d. balànids
5. Explica l'aparent ordre d'aparició dels organismes en els discos. Quines podrien ser les raons d'això?
6. És plausible que la temperatura o la salinitat de l'aigua hagin afectat l'assentament i creixement en els discos? Si és així, quan i de quina manera?
7. Quines espècies podrien estar competint entre si per la mateixa mena de recursos? Quins recursos són aquests? Observes proves d'això en les dades?
8. Compara els índexs de diversitat del disc superior i inferior al final de l'experiment. En què es diferencien? Explica la diferència.

## V.2 Pistes

Per a ajudar-te a interpretar les dades, aquí tens alguns consells que pots utilitzar. (Pot ser que no estiguis familiaritzat amb algunes de les paraules emprades aquí, però són molt fàcils de buscar en la web). Encara que la major part d'aquesta informació és rellevant per a aquest experiment, hauràs de decidir per tu mateix quines parts són importants per a la teva interpretació de les dades.

Les dades presentades aquí van ser recollides pels estudiants en un projecte de classe. Per tant, els resultats són "reals" i no idealitzats. Per exemple, els estudiants poden haver raspat accidentalment alguns dels organismes mentre manipulaven els discos. En conseqüència, algunes de les dades poden no ser totalment fiables.

- L'àrea de mostreig estava a costa oest del fiord de Kiel, a les coordenades geogràfiques 54°19'47.6 "N 10°09'00.2 "E.

- Pot haver-hi un efecte d'ombreig quan els discos superiors estan prou crescuts com per a reduir la quantitat de llum disponible per al disc inferior.
- L'alga més comuna era *Ectocarpus*, una alga filamentosa marró. Té dues etapes en el seu cicle de vida, primer un gametòfit haploide, que és menys tolerant als canvis de salinitat, i més tard un esporòfit diploide més tolerant.
- *Polydora sp.*, l'espècie de poliquet més comú que es troba en els discos, depèn dels sediments (que s'acumulen gradualment en els discos de la columna d'aigua) per a construir els seus tubs. Els corrents en el fiord de Kiel són bastant febles.
- L'alliberament de larves de balànids per part dels animals adults està determinada per la concentració de fitoplàncton i per la terbolesa. Coincideix majorment amb la floració del fitoplàncton a la primavera. Les larves de balànids són planctòniques. Els primers estadis de les larves són positivament fototàctics (la qual cosa és un avantatge ja que s'alimenten de fitoplàncton). L'últim estadi larvari, la larva cypris, és l'estadi que després d'alguns dies o setmanes s'assenta al substrat. Aquest estadi no s'alimenta i és negativament fototàctic.
- La larva plànula dels pòlips, específicament de *Obelia sp.*, forma part del zooplàncton a la deriva en l'aigua. En aquesta etapa, són positivament fototàctics però es tornen negativament fototàctics quan és el moment d'assentar-se en una superfície sòlida.
- Els organismes poden estar competint per l'espai en els discos o per la mateixa font d'aliment.
- Depenent de les espècies natives que es trobin en la zona, la majoria dels organismes fan la posta a finals de primavera o principis d'estiu, és a dir, tan aviat com s'aconsegueix la temperatura adequada i hi ha suficient aliment disponible per a les larves que s'alimenten.

### Autors:

Dr. Sally Soria-Dengg and Dr. Joachim Dengg  
GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel  
Düsternbrookerweg 20, 24105 Kiel  
Alemanya  
Correu electrònic: [sdengg@geomar.de](mailto:sdengg@geomar.de)

V. 05-2020

Copyright: Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0);  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>