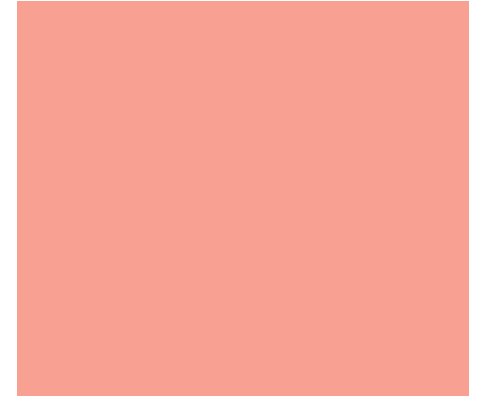


# Estrategias reproductivas, peces

Lic. Germán Benech Correa  
Laboratorio de Fisiología de la  
Reproducción y Ecología de  
Peces.

# Los peces...



- Es el grupo más diverso dentro de los vertebrados, contando con más de 32.000 especies del total de aproximadamente 60.000 conocidas .

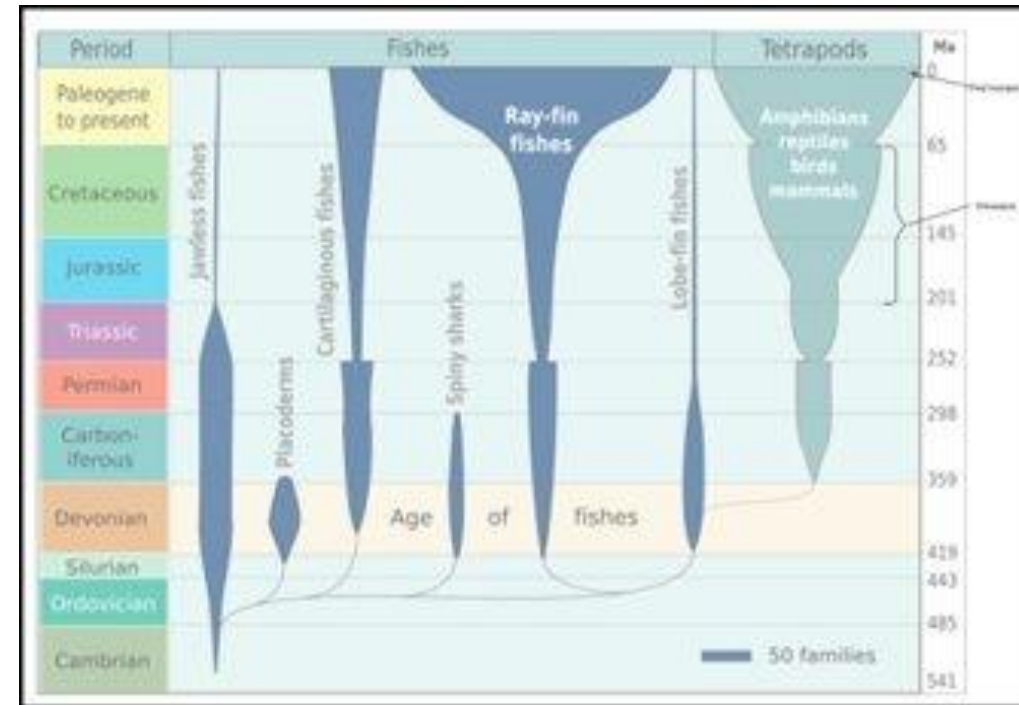
**NOTABLE DIVERSIDAD  
DE HÁBITATS**



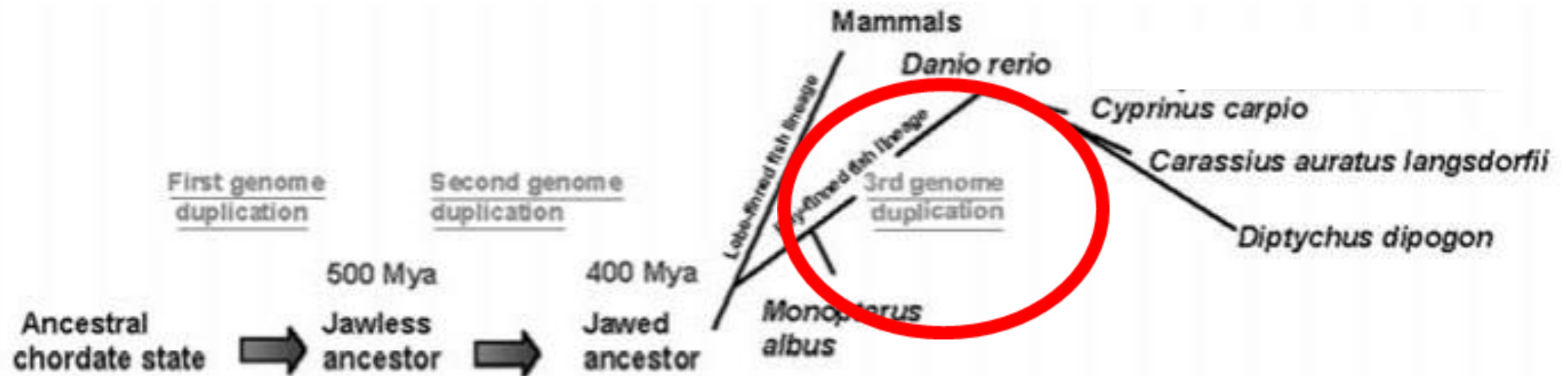
**HAN DESARROLLADO UNA  
IMPRESIONANTE VARIEDAD  
DE ADAPTACIONES**



**AUMENTO EN LA CANTIDAD DE  
MATERIAL GENÉTICO**




# Tercera Ronda de Duplicación Génica





# Ciclo de vida

- Los organismos:
    - Nacen
    - Crecen
    - Se reproducen
    - Mueren
  - Va a haber un equilibrio en la energía que se destina a la reproducción y el crecimiento que va a estar ligada estrechamente a las condiciones del ambiente en el cual la especie cumple su ciclo de vida.
- 

# Estrategias vs tácticas

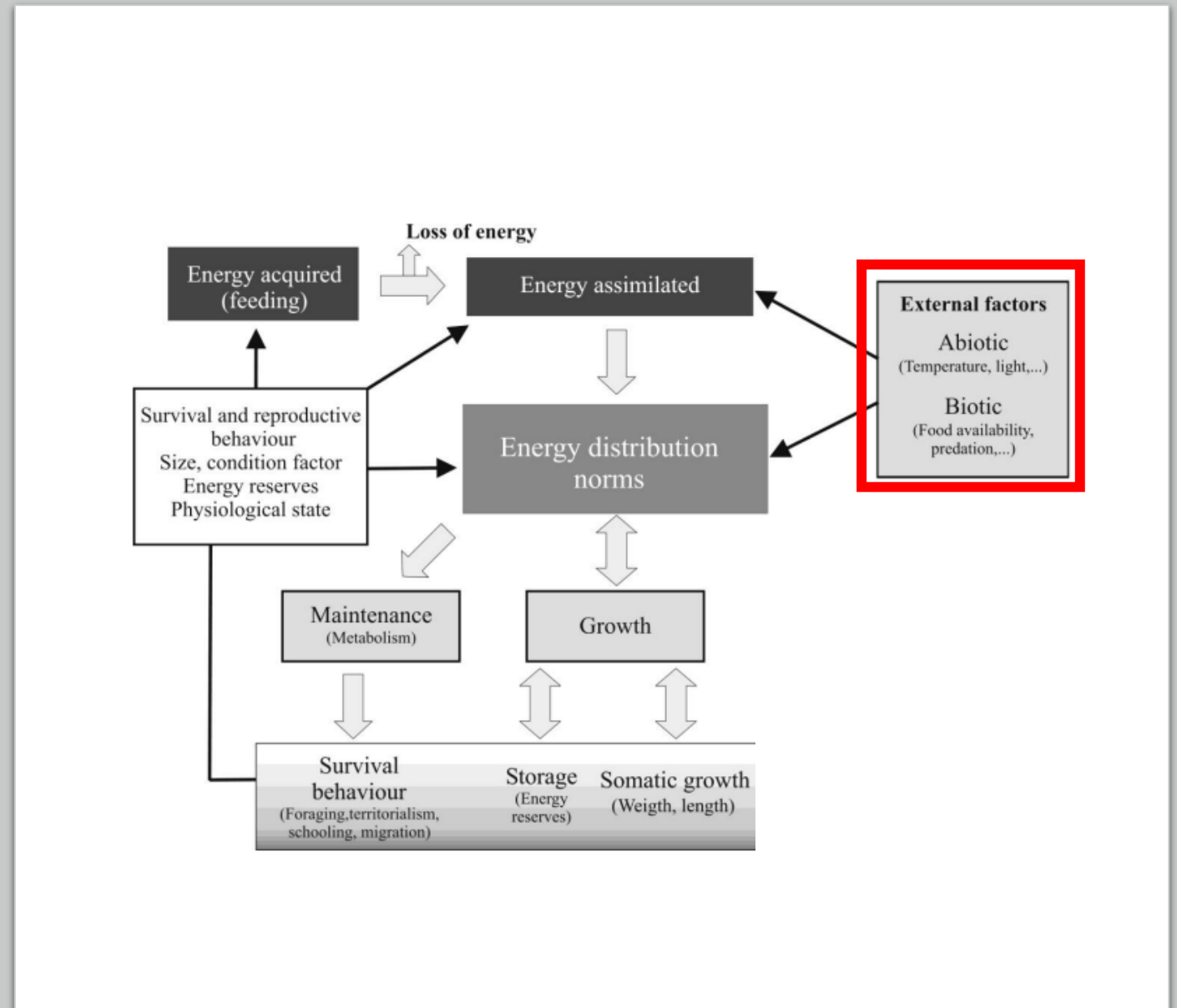
- **Estrategia reproductiva:** patrón general de reproducción común a individuos dentro de la especie.
- **Tácticas reproductivas:** variaciones en respuesta a las fluctuaciones en el medio ambiente.
- Hay tres factores importantes en la **regulación de las tácticas reproductivas:**
  - condiciones abióticas
  - disponibilidad de alimento
  - depredación

# Definición de reproducción

- Proceso biológico que hace posible la perpetuación de las especies.
- Implica que los gametos masculino y femenino se tienen que encontrar en el mejor período para la supervivencia de la progenie.
- Existen diversidad de estrategias y tácticas reproductivas dirigidas a cumplir este objetivo y que derivan de esa gran diversidad que posee este grupo.

# Implicancias de la reproducción

- Antes de la madurez sexual, energía asignada al crecimiento y la supervivencia.
- Después de la madurez sexual, es necesario invertir parte de esa energía en la reproducción.
- La cantidad de energía que se invierte en reproducción va a depender tanto de factores intrínsecos como ambientales.
- Es necesario cierto equilibrio energético que se va a ver reflejado en las dinámicas de crecimiento y reproducción.



# Algunas consideraciones

- Estudios de reproducción centrados en las hembras
- Razones:
  - la producción de crías está más limitada por la producción de óvulos que por la producción de espermatozoides
  - la hembra nutre al embrión en desarrollo
- Esto implica que las etapas tempranas en la vida de un individuo están más ligadas a la madre.



Estrategias  
reproductivas,  
peces



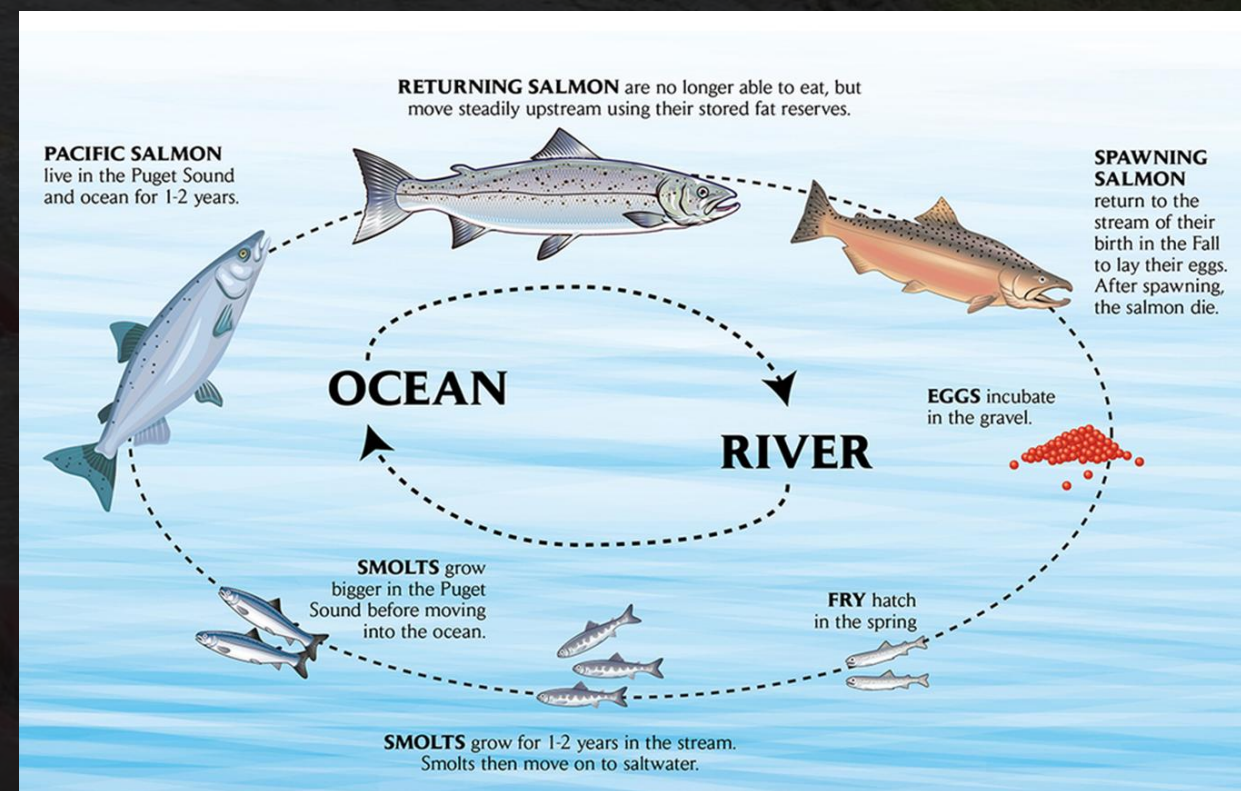


# Frecuencia de reproducción

- Semélparos (desovan una vez y mueren)
- Iteróparos (más de una temporada de desove durante su vida reproductiva)



# Semelparidad



- Un solo desove a lo largo de la vida del pez
- Los individuos utilizan todos los recursos disponibles para maximizar la reproducción
- Por lo tanto luego de la reproducción mueren
- No es voluntario. Consecuencia del esfuerzo reproductivo
- Salmon del pacífico





**Corvina blanca:**  
*Micropogonias furnieri*

La época de reproducción es entre los meses de setiembre a marzo, con un pico en noviembre-diciembre

# ITEROPARIDAD

- Presentan más de un evento reproductivo a lo largo de su vida.
- Reproducción muy ligada a los recursos disponibles.



## **SEMELPARIDAD**

**Una única reproducción**

**Baja supervivencia del adulto**

**Alta supervivencia del estado juvenil**

**Mayor esfuerzo durante el apareamiento.**

## **ITEROPARIDAD**

**Más de una reproducción**

**Elevada supervivencia del adulto**

**Baja supervivencia del estado juvenil.**

**La producción de muchas crías es lo que aumenta las probabilidades de supervivencia.**

---

# Madurez sexual

- Es un proceso ontogénico que ocurre una vez en la vida de un individuo.
- Determina cuándo los peces comienzan a reproducirse y se refiere al proceso de maduración (pubertad).
- Implica cambios fisiológicos complejos, cambios en la distribución de la energía y el comportamiento, lo que representa una transición crítica en la vida de un individuo.
- Edad o tamaño

Crecimiento  
y maduración  
dependen  
de

- Condicionamiento genético.
- Temperatura (tasas de crecimiento y programas de maduración en función de las variaciones latitudinales).
- Alimentación (disponibilidad de alimentos).
- Presiones antrópicas.

## REPRODUCCIÓN

-

## CRECIMINETO

-

## FACTORES AMBIENTALES


- La madurez sexual depende de varios factores. En los climas fríos suele retrasarse, mientras en ambientes más templados se acelera.
- Ejemplo, esturión siberiano en diferentes cuerpos de agua en Rusia vs Río Negro, Uruguay.
- En el Río Negro maduran incluso más temprano, a los 3 años los machos y a los 5 años las hembras.

## Madurez sexual de los esturiones siberianos en la naturaleza

Water body	Length (cm)	Body weight (kg)	Age (years)
Ob	103–110	9	9–12
	–	–	16
Irtysh	114–120	8.2	12
	–	–	12
	–	15–17	17–18
Yenisei	65–79	5–8	16–17
	85–90	4–6	19–24
Lake Baikal	–	–	–
	119–124	14	20–22
	152–167	19–38	26–34



- 
- 
- 
- Presiones antrópicas.



Contribución N° 6

Análisis de la longitud media y la evolución de la talla de primera madurez de corvina *Micropogonias furnieri*, basada en campañas de investigación en la ZCPAU \*, para el período 1988-1995

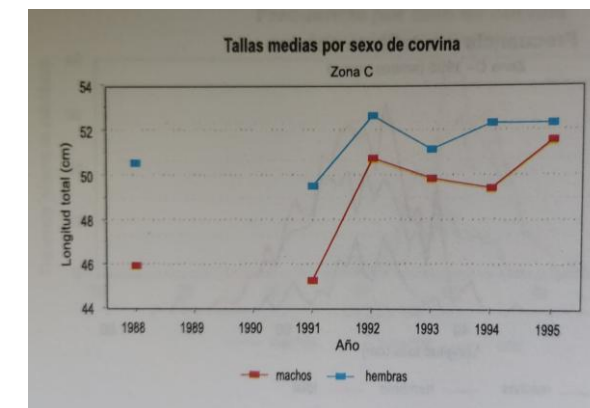
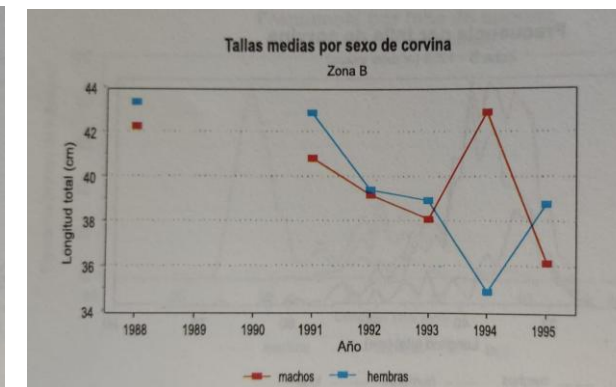
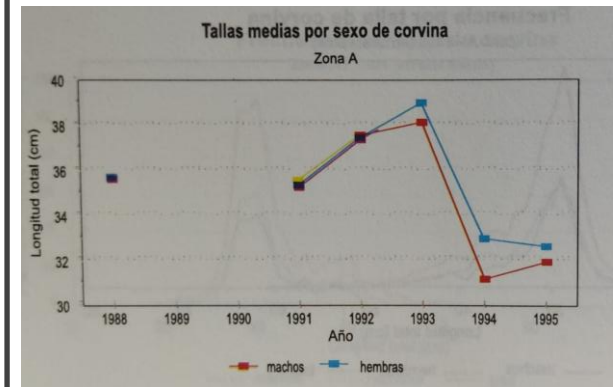
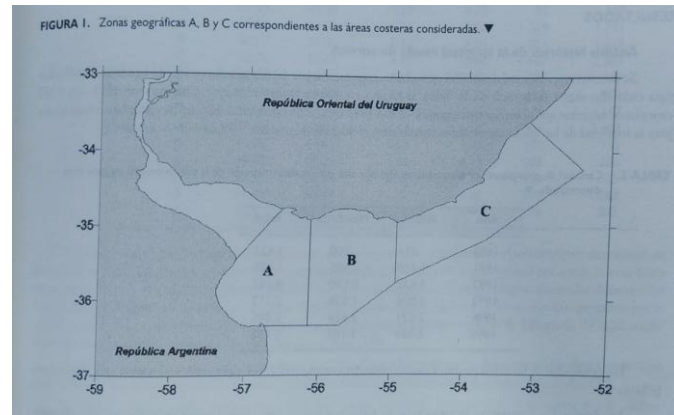
Oscar D. Pin, Ernesto Chiesa y Milagros Gamarra

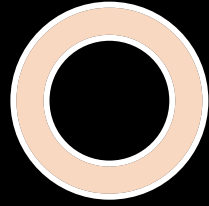
- Presión en la talla de primera madurez asociada a la pesca.
- La estimación de la talla de primera madurez permite conocer la talla a la cual el 50% de los individuos constituyentes de una población entran activamente en la fase de madurez gonadal.
- Pesca de ejemplares grandes, la población en general se busca adaptar a tallas de madurez sexual inferiores.



# Presiones antrópicas.

- *Micropogonias furnieri*
- Tendencia a la disminución de las tallas medias observadas a lo largo del tiempo en las zonas A y B.
- Fenómeno que podría ser indicador de la explotación excesiva y prematura del recurso pesquero.
- ¿Situación actual?






# Fecundidad



- La fecundidad se define como el número de huevos producidos por una hembra.
- Gran variación interespecífica que refleja diferentes estrategias reproductivas.
- Las especies vivíparas producen pocos embriones, mientras que especies ovíparas ponen miles o millones de huevos.





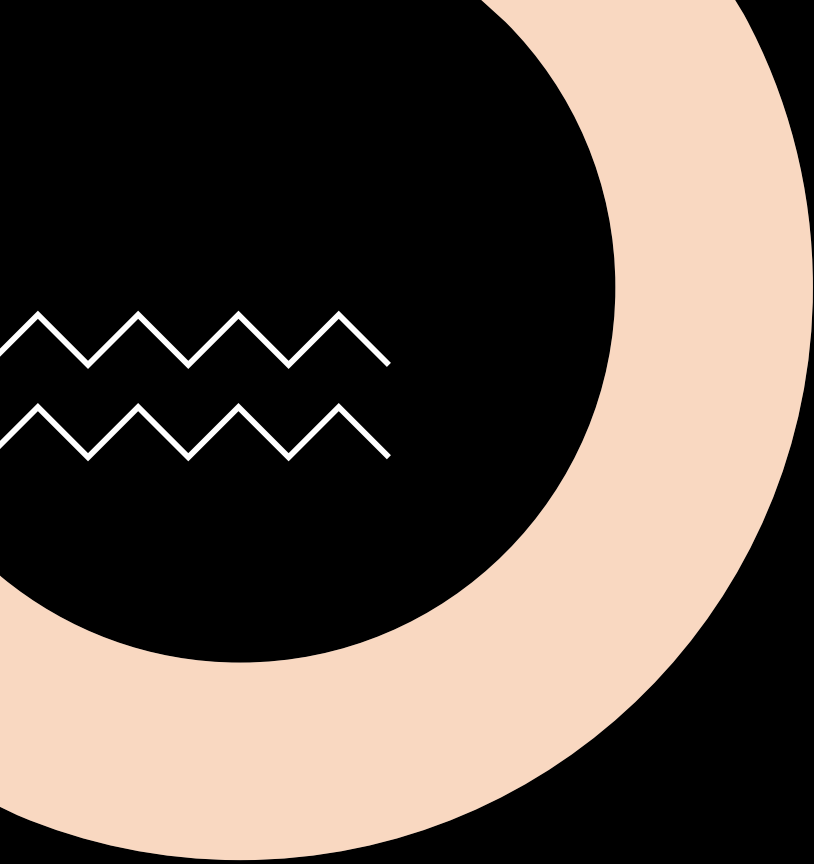
# Producción de huevos y dinámica de desove

- Se pueden identificar tres momentos críticos, que en conjunto determinan la producción de huevos y al mismo tiempo la dinámica del desove:

- reclutamiento de ovocitos
- crecimiento de ovocitos
- desove

(o liberación de huevos, o liberación de larvas/embriones en especies vivíparas)





# Reclutamiento de ovocitos

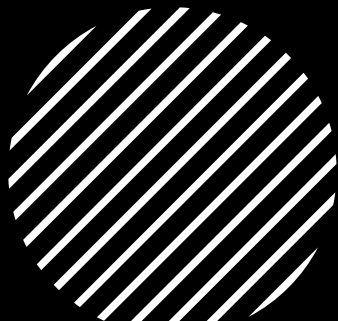
- Este proceso ocurre por primera vez durante la pubertad y luego regularmente durante cada temporada de reproducción posterior.
- La producción de óvulos supone una importante inversión energética, por lo que la forma de reclutamiento de los ovocitos es fundamental. Se pueden identificar dos tipos de reclutamiento de ovocitos:
  - determinado
  - indeterminado





# Determinado

- En el momento del inicio del desove ya se ha reclutado el stock completo de ovocitos vitelogénicos.
- El número de ovocitos que potencialmente se generarán durante la temporada de reproducción es determinado de manera previa al desove.
- Energía asignada al proceso es designada de manera previa.



A diagram illustrating an indeterminate spawning strategy. It features a large black rectangle with a white border. Inside the rectangle, the word "Indeterminado" is written in white. The top-left corner of the rectangle is decorated with two sets of white zigzag lines. The top-right corner has a white circle with a black outline. The bottom-right corner is decorated with a white circle filled with black diagonal lines. A thick white line runs along the bottom edge of the rectangle, ending in a white circle with black diagonal lines at the bottom-right corner.

# Indeterminado

- En el momento del inicio del desove, solo se ha reclutado una parte de la reserva de ovocitos vitelogénicos.
- El número de ovocitos no se determina antes de comenzar el desove.
- La energía asignada a la producción de huevos se define durante la temporada de desove.
- Los peces pueden adaptar rápidamente el reclutamiento de ovocitos a la energía disponible durante el desove.

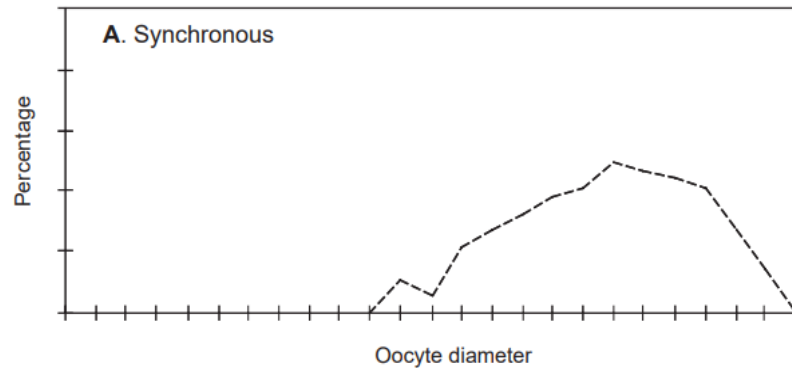
# Diferentes situaciones

- Número final de huevos desovados o fecundidad realizada.
- En indeterminados hay diferentes factores, en su mayoría relacionados con la disponibilidad energética, le avisan a la hembra que tiene que deja de reclutar ovocitos.
- En los determinados, como el reclutamiento se da antes del desove solo se puede regular la fecundidad a través de la reabsorción de ovocitos es decir atresia ovocitaria. Se puede dar atresia masiva.

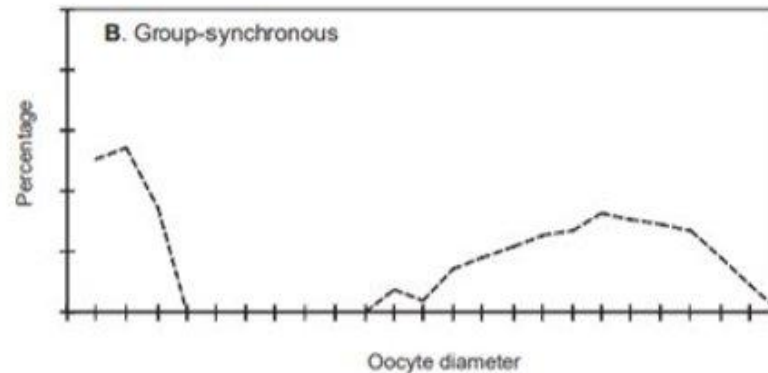


# ORGANIZACIÓN OVÁRICA

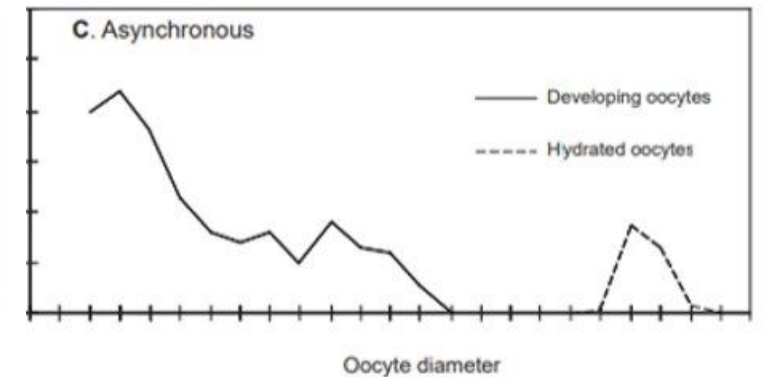
- **Sincrónico:** las células ovocitarias maduran concomitantemente, siendo liberadas de una sola vez durante el desove.



- **Grupos sincrónicos:** se ven al menos dos poblaciones de ovocitos, para cada periodo de desove hay por lo menos dos liberaciones de ovocitos maduros.



- **Asincrónico:** todos los estadios del desarrollo ovocitario están presentes al mismo tiempo.





# Patrón de desove

- Basado en el ritmo de ovulación.
- Desovantes totales u ovuladores sincrónicos refiere a aquellas especies en las que todos los huevos son liberados al mismo tiempo o como parte de un mismo episodio.
- Desovantes parciales u ovuladores asincrónicos, los huevos son reclutados y desovan de a lotes a lo largo de un período prolongado durante la temporada de desove.

# Momentos claves

- Es necesario proporcionar a la descendencia un ambiente adecuado.
- Presencia de alimento
- Ausencia de depredadores
- Ambiente que no se corresponde con el óptimo para el adulto.
- Ambiente que puede variar mucho dependiendo la especie.
- El fotoperíodo y la temperatura son los principales factores pero también puede ser el ciclo de lluvias.

# Influencia de la temperatura y el fotoperíodo

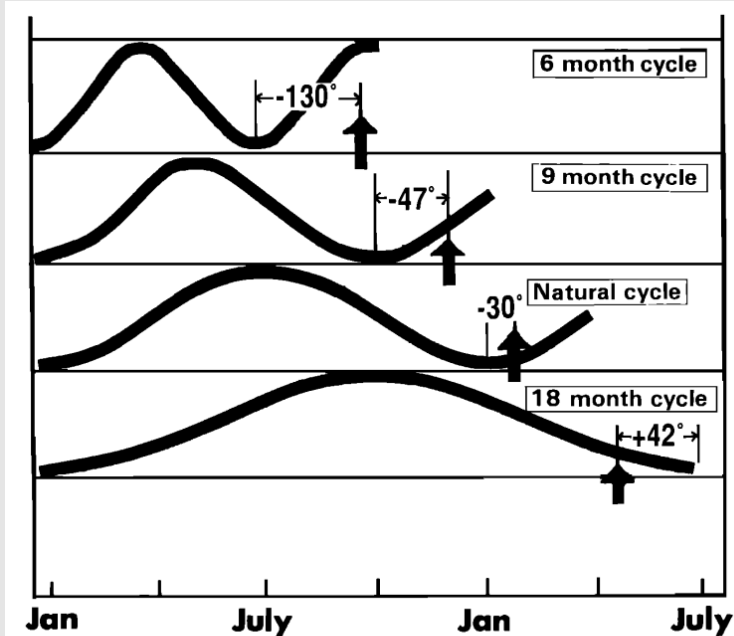
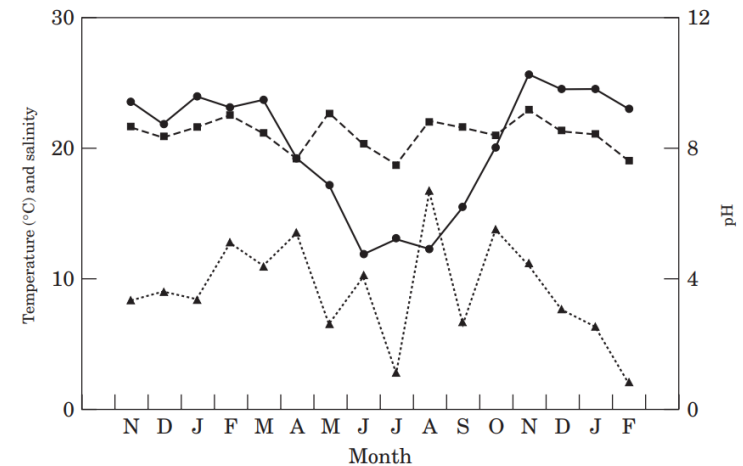
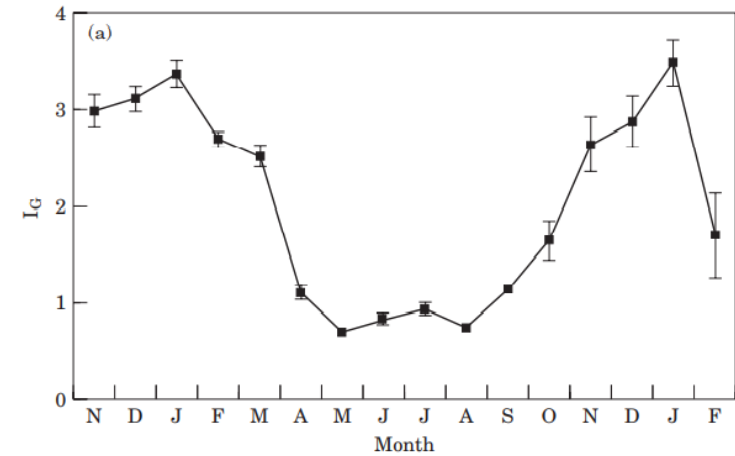


Fig 1 Effects of altered seasonal photoperiods on rainbow trout spawning (arrow is time of first spawning in each group)

- En las regiones templadas, las variaciones de fotoperíodo y / o de temperatura son las principales señales que controlan el ciclo reproductivo porque ambos son osciladores circanuales.
- El fotoperíodo actúa como señal principal para sincronizar el ritmo endógeno de reproducción.

# Influencia de la temperatura en el período reproductivo.

- *M. furnieri*
- La época de reproducción es entre los meses de setiembre a marzo, con un pico en noviembre-diciembre.
- Coordinación del período de desove con el aumento de la temperatura.



# Plasticidad y adaptación

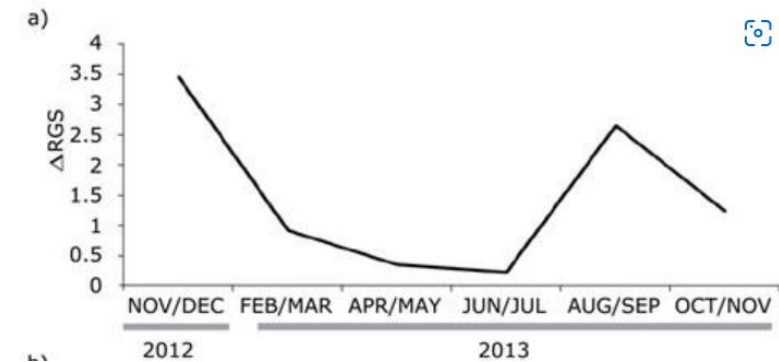
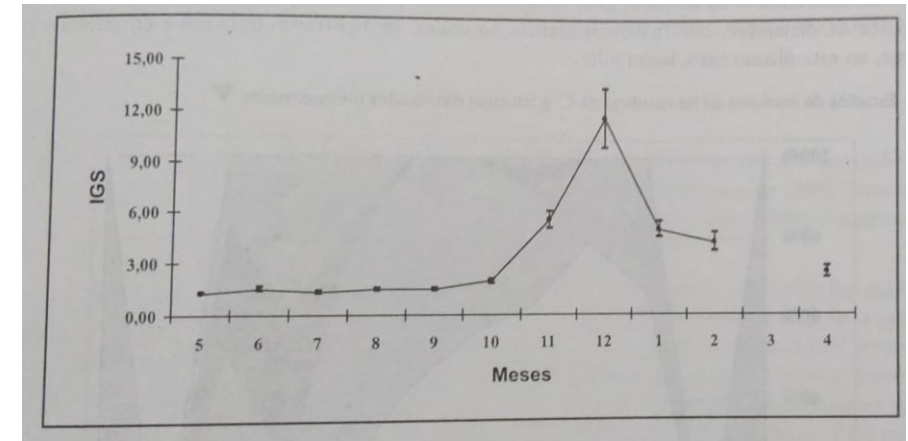
- Diferentes poblaciones de una misma especie pueden desovar unos meses antes o después que sus contrapartes, alargando la época reproductiva de la especie.
- Estas diferencias pueden estar relacionadas con las características del hábitat local, como la temperatura y los niveles y oscilaciones del fotoperíodo, a los que los peces podrían aclimatarse (plasticidad).

# Comparación del índice gonadosomático de la pescadilla de red del noreste de Brasil y Uruguay.

Se observa una diferencia en el IGS para en aguas uruguayas con respecto a aguas del norte de Brasil.

En Brasil: picos de desove durante noviembre-diciembre y agosto-septiembre.

En Uruguay: el desove ocurre a finales de primavera con máximo en verano.





# Desarrollo del embrión

- Oviparidad
- Viviparidad





# Oviparidad

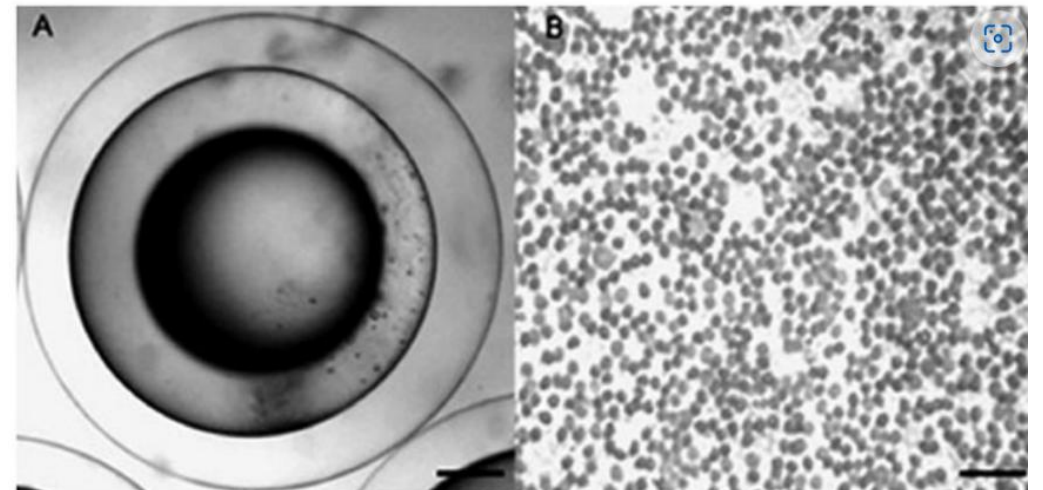
- Es la táctica más común. Las hembras liberan los huevos que van a ser fecundados por los espermatozoides liberados por los machos. Se desarrollan y eclosionan en el ambiente externo. La fecundación es externa.
- En las especies ovíparas, el desove (liberación de los óvulos) se produce poco después de la ovulación, ya que luego de la ovulación estos son viables sólo durante un breve período de tiempo variable.
- En peces marinos, sobre todo se da la agregación de los individuos y la formación de cardúmenes para asegurar la reproducción. Ejemplo: pescadilla de red desove frente a Montevideo.
- Importancia en administración pesquera



# Oviparidad

---

- Los huevos pueden ser:
    - pelágicos
    - demersales: generalmente minimizan la energía que invierten en la producción de huevos para dedicarla a generar huevos con más vitelo y cuidado parental.
- adhesivos
- enterrado en grava
- depositados en nidos o estructuras corporales



# Número de óvulos



- Las primeras etapas, huevos o larvas, sujetas a gran mortalidad.
- La mayoría de los peces producen un gran número de huevos chicos.
- Huevos pelágicos, mortalidad influenciada por la estocasticidad del hábitat.
- Pero también hay huevos demersales. Pocos huevos pero de gran tamaño.
- Es necesario invertir en la supervivencia de las larvas individuales más que en los huevos en sí.
- Va a haber factores ambientales que influyen en las estrategias de cada especie.

Característica	demersal	pelágico
Tamaño	>1mm	<1mm
Envoltura	gruesa	delgada
Color	opaco	transparente
Cantidad de vitelo	telolecito	ologolecito
Cuidado parental	común	generalmente no
Fecundidad	baja	Alta (>1 millón)
Dispersión	baja	alta

# Relación tamaño de huevo y fecundidad

- Variabilidad entre tamaño de huevo y fecundidad. Determinada por el control parental sobre las condiciones de crecimiento que van a experimentar las larvas.
- Esfuerzo reproductivo entre la fecundidad y el tamaño del huevo entre los peces teleósteos esta estrechamente relacionado con los hábitats que ocupan.



# Viviparidad



- 2 requisitos: - Desarrollo de los embriones en el interior del aparato reproductivo.
- Fertilización interna.
- Se da mayoritariamente en condriactios pero también se han documentados más de 500 especies de teleósteos.
- En peces teleósteos el desarrollo se da en el folículo ovárico o en la luz ovárica, no tienen útero u oviductos.
- Matrotrofica
- Lecitotrofica



# Matrotrófica

/

# Lecitotrófica

- Los nutrientes son proporcionados por la madre durante la gestación de diversas maneras, incluso a través de una estructura placentaria.
  - Por lo tanto provee nutrientes y un ambiente óptimo para el desarrollo.
- Los embriones se desarrollan sin ningún órgano de intercambio vascular especializado y dependen únicamente del saco vitelino para su nutrición.
- En los dos casos la madre satisface las necesidades respiratorias, osmorregulatorias y excretoras de los embriones.

# Oviparidad vs viviparidad

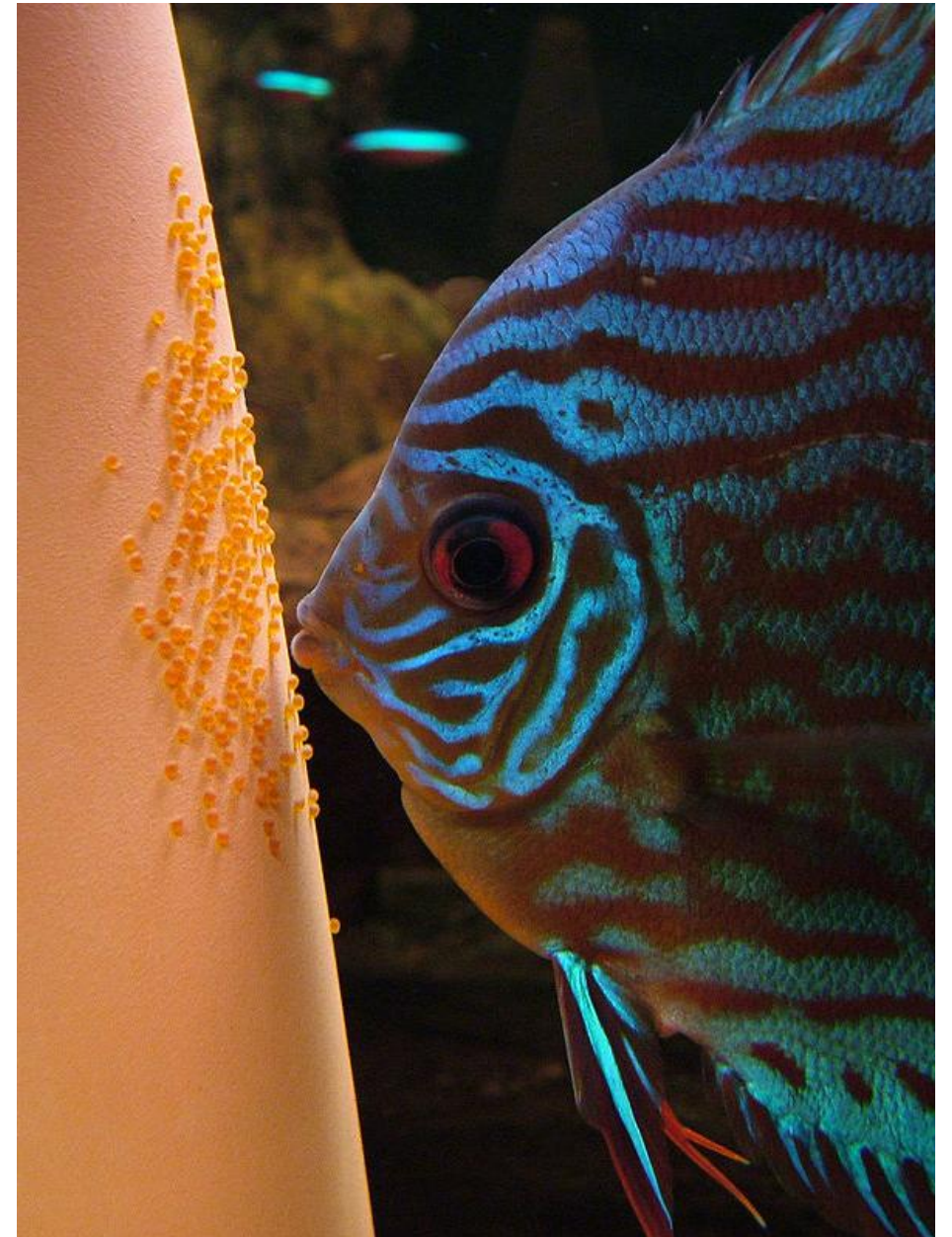
---

- En las especies vivíparas el embrión es protegido y mantenido por la madre durante su desarrollo temprano. Sin embargo la hembra puede verse afectada a la hora de alimentarse o desplazarse. Además, puede haber problemas de espacio.
- Las especies ovíparas tienen la desventaja de exponer mucho a su descendencia tanto a depredadores como a condiciones ambientales. Una solución, cuidado parental. Liberación de óvulos no hay problemas de espacio.



# Cuidado parental

- Generalmente luego del desove no existe un reconocimiento de los huevos por lo que el cuidado parental no es tan frecuente en peces.
- Varias especies muestran cuidado biparental, pero el más común es el cuidado uniparental y, con mayor frecuencia, lo brinda el macho.
- La viviparidad matrotrófica es la forma más elaborada de cuidado parental.
- La protección de los huevos es el modo de cuidado más común.
- Construcción de nidos, incubación bucal, transporte de embriones en estructuras corporales especializadas.



*Symphysodon aequifasciatus*

# Estructuras corporales especializadas.

- Caballitos de mar (*Hippocampus*)
- Monógamos
- Macho, incuban los huevos en una bolsa abdominal, donde son fecundados.
- Una vez que eclosionan son liberados.



# Cuidado parental, cíclidos



- Ovíparos
- Cuidado biparental fuerte, que Incluso continua luego de la eclosión.
- Adhieren sus huevos a superficies solidas.
- El cuidado también incluye la limpieza de los huevos., defensa contra depredadores.
- Incubación bucal es útil contra depredadores y condiciones ambientales.
- Pero esto tiene un costo. Menos huevos tamaño de la puesta restringido por la cavidad bucal.
- Por otro lado los incubadores de sustrato no tienen esta restricción, además ponen más huevos generalmente de menor tamaño.
- Castañeta pone cientos de huevos en nidos que luego van a ser protegidos por ambos progenitores incluso luego de la eclosión.



*Australoheros facetus.*

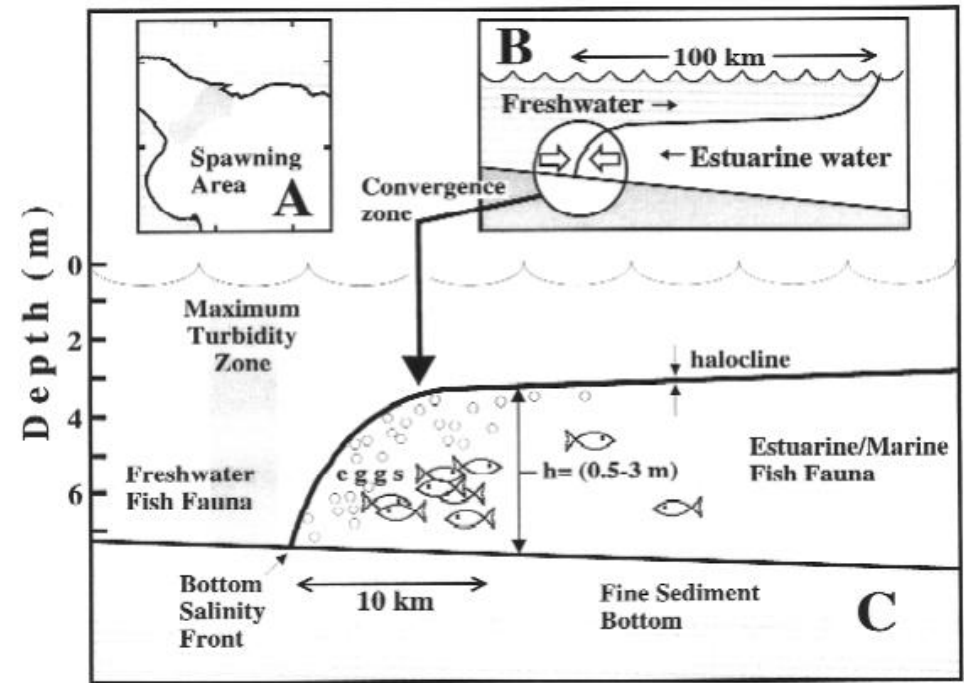
## Cuidado parental

- En las especies que muestran cuidado parental, la selección del sitio de desove es fundamental
- Sin embargo, las especies con menos o ningún cuidado de los padres también seleccionan los hábitats de desove para colocar huevos o larvas en sitios que ofrecen protección o condiciones ambientales apropiadas

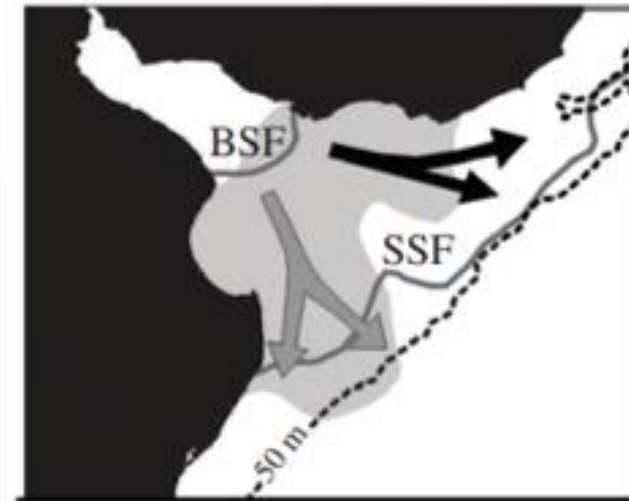


# Cuidado parental sin cuidado parental

- Elección de la zona de desove *Micropogonias furnieri*
- Frente a la costa oeste de Montevideo
- En coincidencia con el gradiente salino de fondo.
- Esta zona es el elemento físico primario determinante de la posición de los desovantes.
- Diferentes características propicias para la supervivencia de la descendencia:
  - Alimento
  - Alta turbidez disminuye depredación
  - Condiciones de oxígeno disuelto, salinidad y pH óptimas.
  - Estabilidad de la zona



Acha et al., 1999





# Fecundación



## Interna

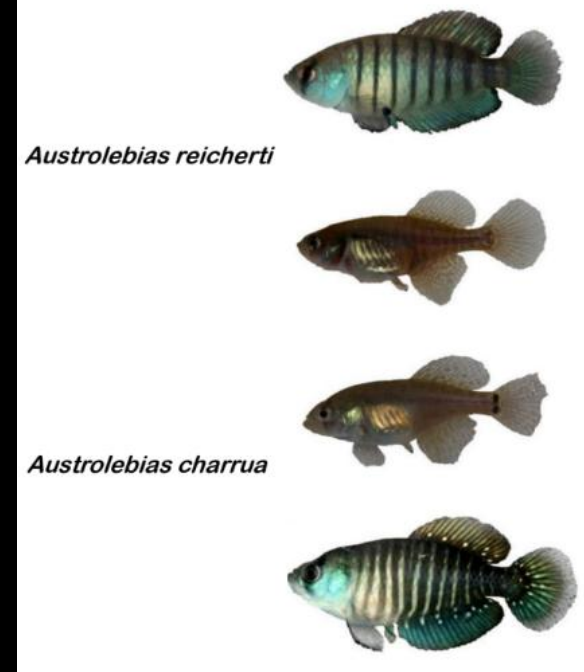
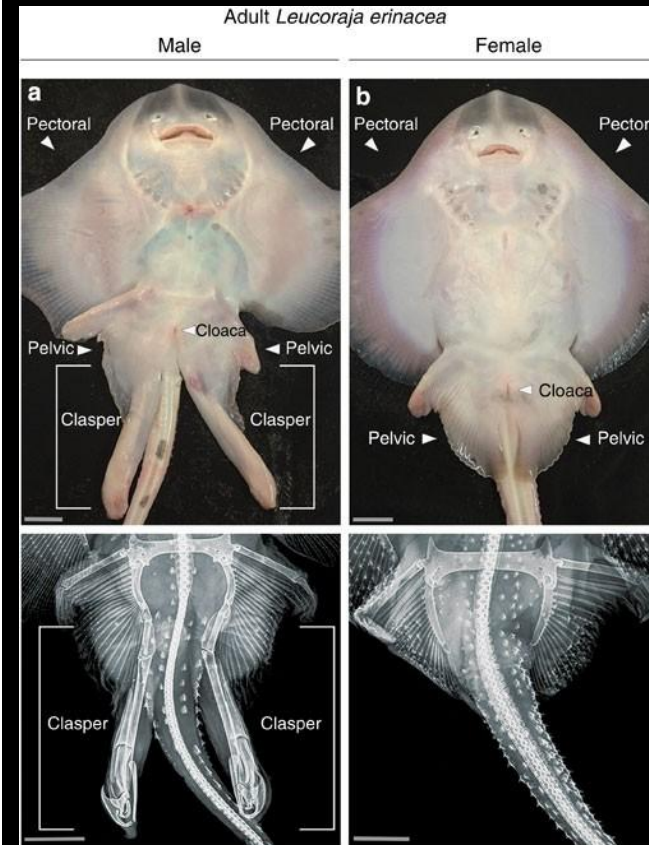
- Órgano reproductor masculino, gonopodio en machos de *Poecilia reticulata*. Aleta anal modificada.
- La aleta anal es diferente en machos y hembras.
- En condriictios las aletas pélvicas modificadas conforman los claspers o pterigopodios.

## Externa

- La hembra libera los huevos y el macho el esperma al ambiente.
- En la mayoría de los peces la fecundación es externa.
- La hembra va a depositar sus huevos los cuales van a ser fecundados por el macho.
- Los huevos son aptos para ser fecundados durante una ventana de tiempo que varía según la especie.

# DIMORFISMO SEXUAL

- Diferencias entre la hembra y el macho.
- Evidente en condriactios, los machos tienen pterigopodio, que en las hembras no existe.
- Puede haber diferencias de tamaño por fecundidad o territorialidad.
- Puede haber diferencias en aspecto relacionada a la selección sexual.



- Amplio abanico de tácticas sexuales

- **Gonocorismo / Hermafroditismo**

- también existen casos de Unisexualidad (partenogenesis en ciprinodontiformes).
- poco común en peces

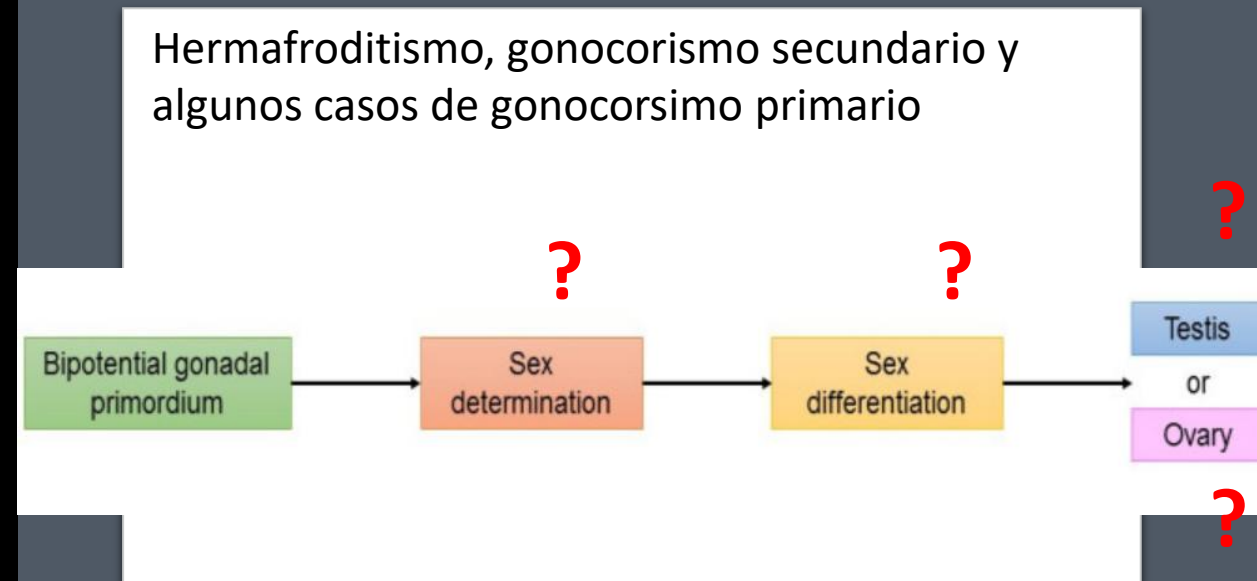
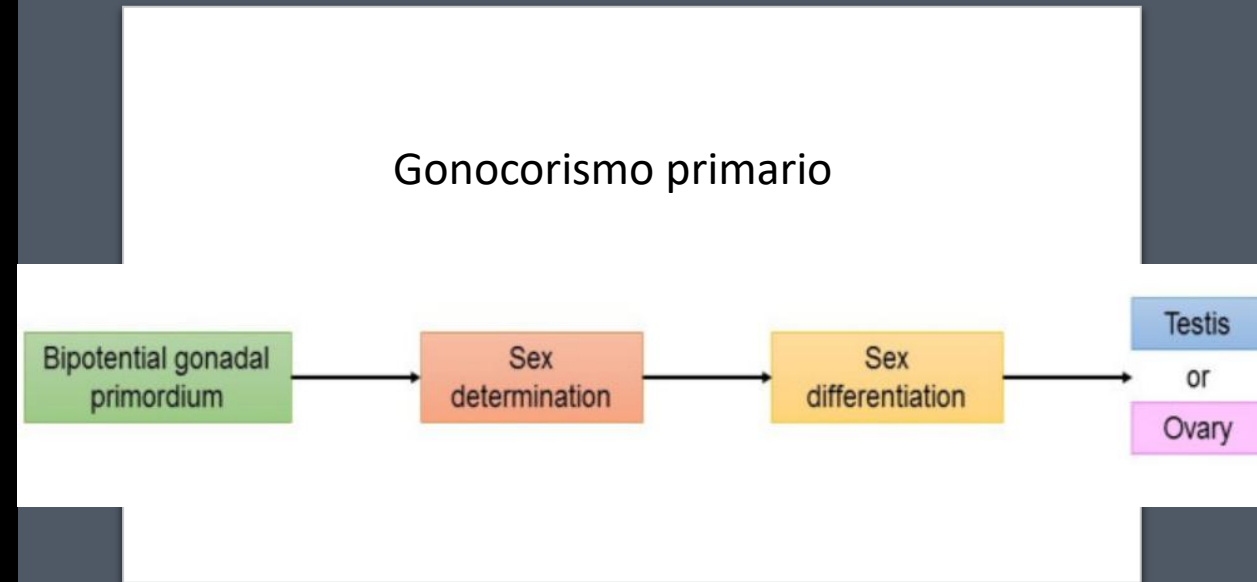




- Encontramos casos de partenogénesis en Ciprinodon tiformes (*Poecilia formosa*).
- Los espermatozoides, provenientes de machos de otras especies.
- Activan el óvulo pero no transfieren material genético.

- **Gonocorismo / Hermafroditismo**

- Diferenciación gonadal se puede dar de varias formas.
- Desde un desarrollo gonadal directo que desemboca en la formación ovárica o testicular, hasta la presencia de ambos órganos reproductores maduros al mismo tiempo.
- En el medio hay un gran abanico de posibilidades.

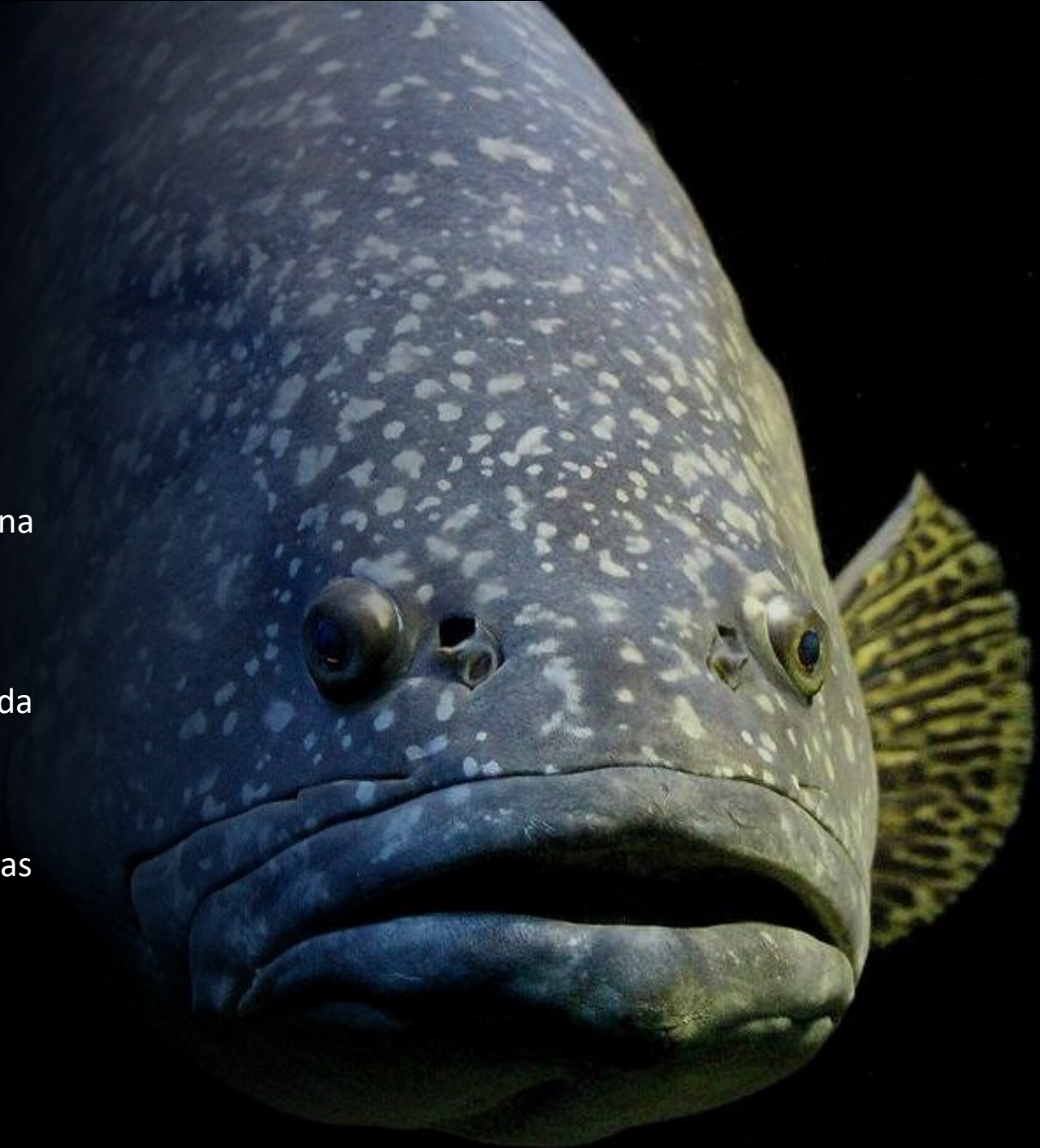


# Especies gonocóricas

- La mayoría de los teleósteos son gonocóricos,
- determinación del relativamente estable
- Pero el estado sexual final en individuos gonocóricos maduros, no siempre revela la vía de diferenciación gonadal tomada inicialmente.
- **GONOCORISMO PRIMARIO Y SECUNDARIO**


# Especies hermafroditas

- Los individuos son capaces de generar tanto gametos femeninos como masculinos maduros en alguna etapa de su vida.
- Sin embargo, como táctica reproductiva dentro de los vertebrados, parece estar restringida al grupo de los peces.
- Énfasis en la función reproductiva
- Hay una gran variedad de estrategias dentro de los hermafroditas.





# Hermafroditas secuenciales

- Secuencial porque en el mismo individuo aparecen ambos tipos de gametos pero no al mismo tiempo.
  - Dos sub-categorías:
    - protandria (macho - hembra)
    - protoginia (hembra - macho)
  - Algunas especies, por otra parte, son capaces de revertir el sexo en ambas direcciones.
- 



# Especies hermafroditas



- Tiempo variable dependiendo de la especie
- Serrano pálido cambia de rol hasta 20 veces en un día
- No están claros los mecanismos que subyacen este tipo de reproducción sexual.
- Tampoco se prevén sistemas estables de determinación del sexo que impliquen hermafroditismo.

# Implicancias adaptativas y evolutivas

- Incluso entre especies relacionadas estrechamente, como dentro de la misma familia, es común que las tácticas sexuales varíen.
- Sugiere que pueden evolucionar con bastante facilidad.
- El hermafroditismo y el cambio de sexo han evolucionado para proporcionar a los miembros individuales de las poblaciones de peces el máximo fitness reproductivo.
- La diversidad de cambios de sexo observada entre diferentes peces en todos los niveles filogenéticos es testimonio de la gran cantidad de hábitats que utilizan, la diversidad de historias de vida empleadas y la complejidad de sus interacciones demográficas.



## Esfuerzo reproductivo y compensaciones

- La asignación de energía a los diferentes componentes de la reproducción es el resultado de varias compensaciones.
- Una de las compensaciones se produce entre el crecimiento y la maduración.
- Restricción sobre el tamaño corporal impuesta por el nicho ecológico.

Esfuerzo  
reproductivo y  
compensaciones

En algunas especies, la mayor parte o la totalidad de la inversión en crecimiento se produce antes de la maduración.

Esta estrategia a menudo implica una vida reproductiva reducida.

Por lo que es típica de especies semélparas, en donde no hay energía para sobrevivir después de la primera temporada de desove.

## Esfuerzo reproductivo y compensaciones

Sin embargo, la mayoría de las especies son iteróparas, aún invierten en el crecimiento después de la maduración.

La duración de la vida reproductiva es muy variable desde unos pocos años, hasta más de 50 años.

El tamaño alcanzado en la maduración no es tan crítico, porque hay más posibilidades de crecer y alcanzar un mejor tamaño después de la maduración.

- La asignación de recursos para la reproducción se puede dividir en tres componentes:
  - desarrollo de características sexuales secundarias.
  - comportamiento
  - producción de huevos.
- Hay una compensación importante entre el tamaño del huevo, la fecundidad y el cuidado de los padres.
- Existe una clara relación negativa entre la fecundidad y el tamaño del huevo y/o larva.

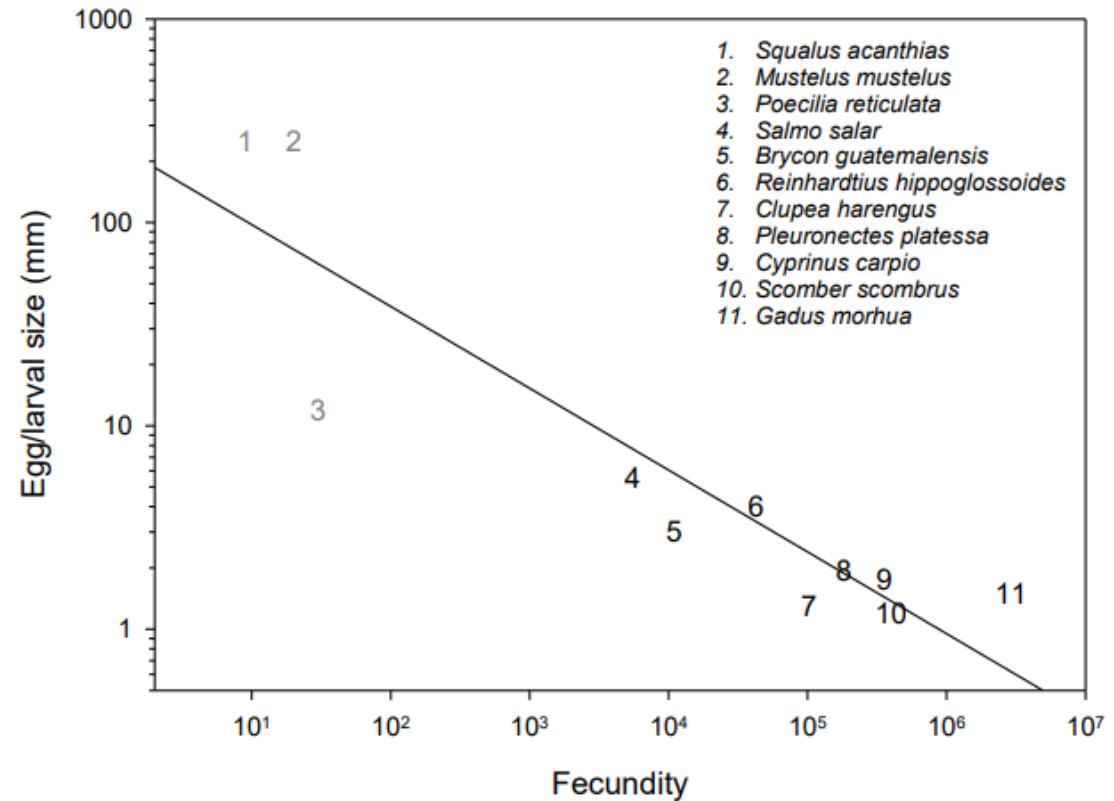


Figure 6. Fecundity-egg/larvae size relationship. Larvae size at birth shown in grey. Both axes are shown in log scale. Species evolve to either produce many and small eggs (right side of the plot) or few and large (left side).

- La compensación fecundidad-tamaño de los huevos de una especie está determinada por el nicho ecológico y los regímenes ambientales.

- Ambientes fluctuantes, huevos dispersivos y pequeños y alta fecundidad. Disminuye el cuidado parental.
  - Estas especies buscan hacer coincidir la etapa de desove con las condiciones ambientales óptimas.
- Ambientes estables, supervivencia relacionada con el tamaño de las larvas y del huevo, por lo tanto la fecundidad disminuye. Aumenta el cuidado parental.
  - En el extremo están los vivíparos que invierten mucho en el cuidado parental disminuyendo al máximo la cantidad de crías.