



FACULTAD DE  
**CIENCIAS**

UDELAR | [fcien.edu.uy](http://fcien.edu.uy)

# *Curso Biología Celular* *2021*



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# Gametogénesis y fecundación



*María José Arezo Rezza*

# Organismos multicelulares con reproducción sexual

## Células somáticas

Forman el cuerpo del organismo multicelular

## Células germinales

Línea germinal que dará origen a los gametos

# Separación temprana linajes somático/germinal (embrión)



# Separación tardía linajes somático/germinal (adulto)

# Organismos con reproducción sexual

Si hay cromosomas asociados a la determinación del sexo:

**Cariotipo:** número, forma y tamaño de los cromosomas de una especie

**cromosomas autosómicos**

todos los miembros de la especie

**cromosomas sexuales**

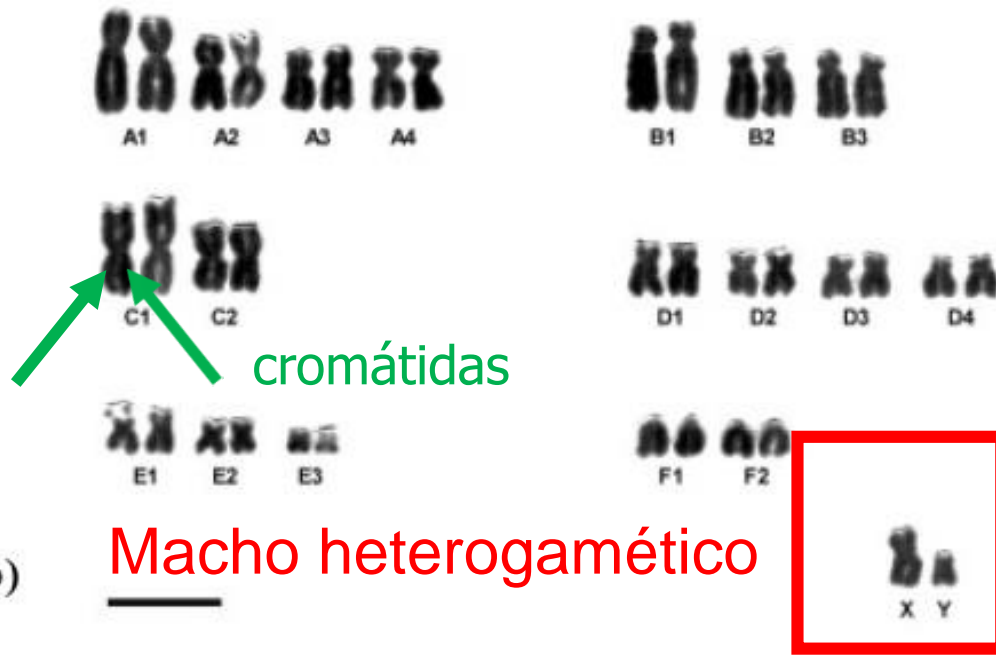
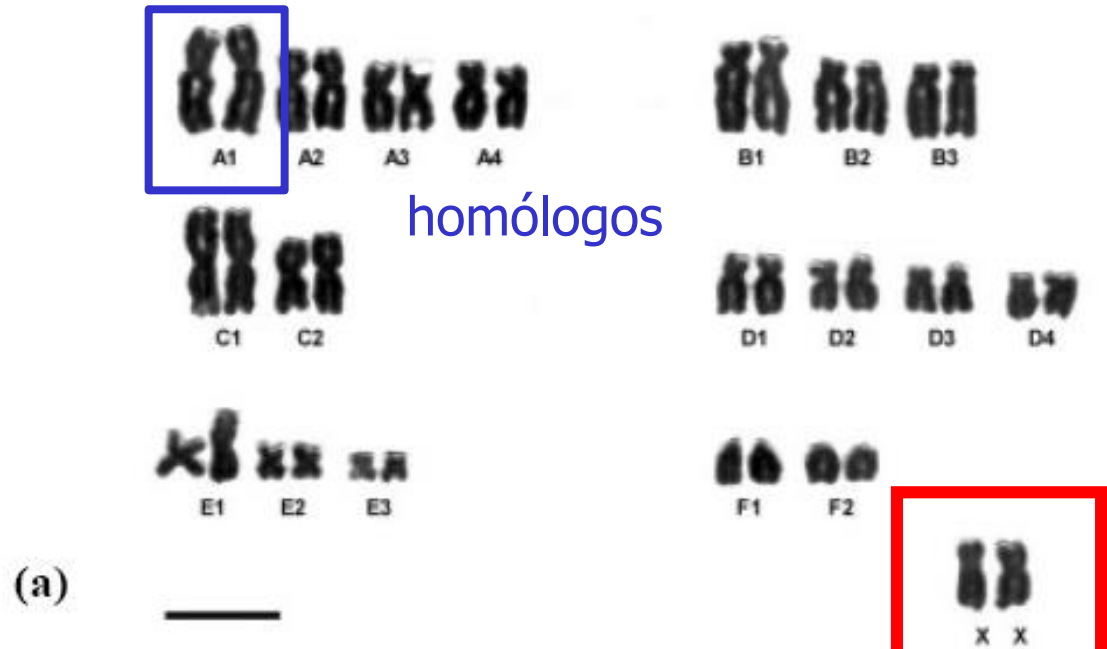
diferentes según sexo y sistemas las especies

# Idiograma mamífero

Ej.: *Panthera onca*

$$2n = 38 \text{ (XX/XY)}$$

## Homólogos y cromátidas





No todos los sistemas de determinación del sexo utilizan cromosomas XX/XY



**Sistema ZZ / ZW**

Hembra heterogamética

.... entre otros...

# Gametos:

¿cuál es su función?

¿qué sucede en una especie diploide?

MEIOTIC S PHASE

MEIOSIS I

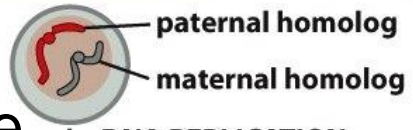
MEIOSIS II

(A) MEIOSIS

(B) MITOSIS

Interfase

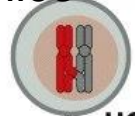
Complejo Sinaptonémico (CS)



DNA REPLICATION



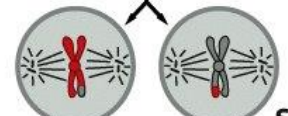
PAIRING OF DUPLICATED HOMOLOGS



HOMOLOG PAIRS LINE UP ON THE SPINDLE



SEPARATION OF HOMOLOGS AT ANAPHASE I



SEPARATION OF SISTER CHROMATIDS AT ANAPHASE II



haploid daughter cells



DNA REPLICATION



DUPLICATED CHROMOSOMES LINE UP INDIVIDUALLY ON THE SPINDLE



SEPARATION OF SISTER CHROMATIDS AT ANAPHASE



diploid daughter cells

# Meiosis

## PRIMERA DIVISIÓN Prolongada

- Profase I: leptoteno
- cigoteno (CS)
- paquiteno®
- diploteno
- diacinesis

- Metafase I
- Anafase I
- Telofase I

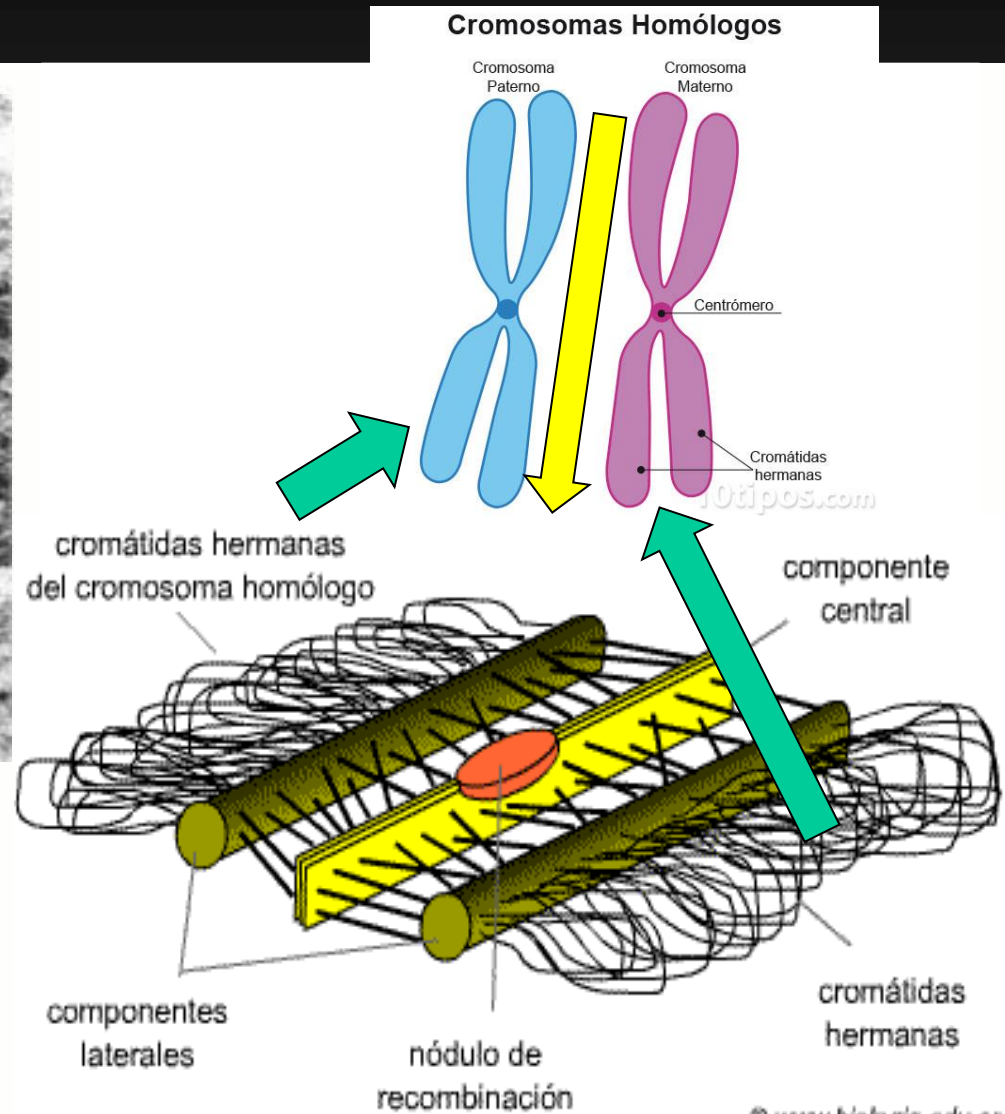
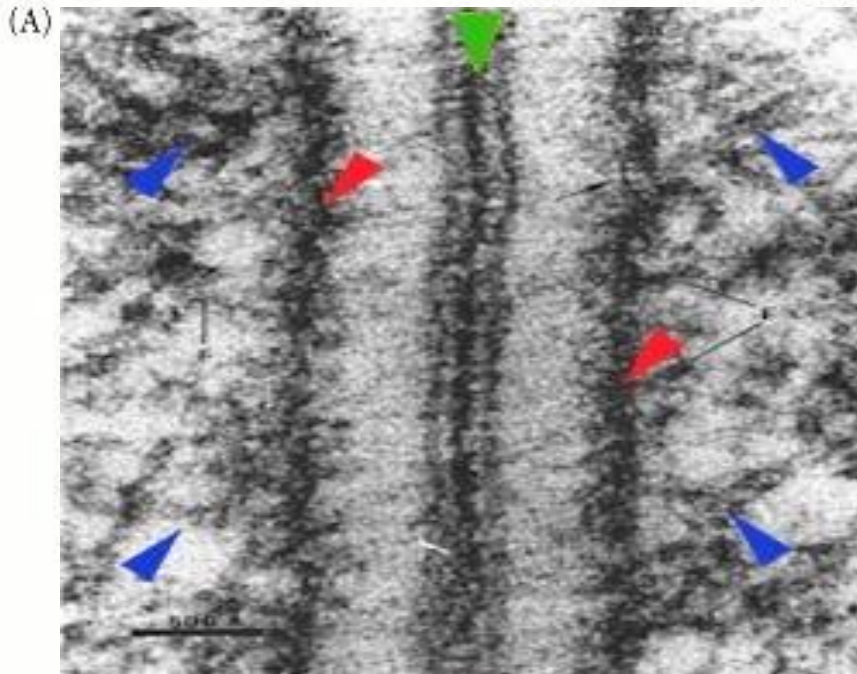
Interfase: breve

Figure 21-5 Molecular Biology of the Cell 5/e (© Garland Science 2008)



# Complejo sinaptonémico

Garantiza el apareamiento correcto de los cromosomas homólogos (proteico)



Cromatina

Elementos laterales

Elemento central

MEIOTIC S PHASE

MEIOSIS I

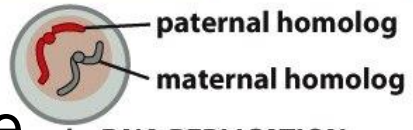
MEIOSIS II

(A) MEIOSIS

(B) MITOSIS

Interfase

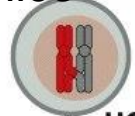
Complejo Sinaptonémico (CS)



DNA REPLICATION



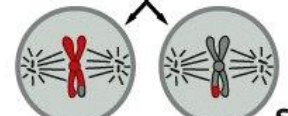
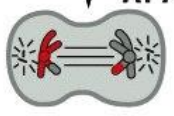
PAIRING OF DUPLICATED HOMOLOGS



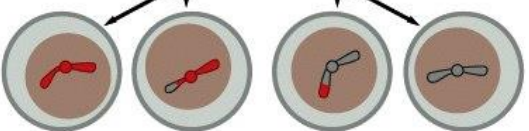
HOMOLOG PAIRS LINE UP ON THE SPINDLE



SEPARATION OF HOMOLOGS AT ANAPHASE I



SEPARATION OF SISTER CHROMATIDS AT ANAPHASE II



haploid daughter cells



DNA REPLICATION



DUPLICATED CHROMOSOMES LINE UP INDIVIDUALLY ON THE SPINDLE



SEPARATION OF SISTER CHROMATIDS AT ANAPHASE



diploid daughter cells

# PRIMERA DIVISIÓN

Profase I: leptoteno  
cigoteno (CS)  
paquiteno ®  
diploteno  
diacinesis

Metafase I  
Anafase I  
Telofase I

Interfase: breve (s/r)

# SEGUNDA DIVISIÓN

errores en la meiosis:  
no disyunción

(= plantas, animales,  
machos y hembras)

Figure 21-5 Molecular Biology of the Cell 5/e (© Garland Science 2008)

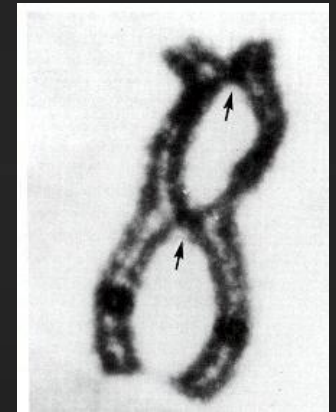
# Beneficios de la reproducción sexual:

Generación de variabilidad genética: 2 niveles

- recombinación genética (2 o 3 eventos c/par)  
(paquiteno)

Quiasmas  
(diploteno)

- distribución de homólogos y cromátidas



Relación: variabilidad genética - entorno cambiante.

Mutaciones perjudiciales – mutaciones ventajosas.

# GAMETOGENÉISIS

La producción de los gametos implica mucho más que la reducción del número cromosómico

## Origen de las células germinales:

Embriones tempranos

- células germinales primordiales (precursoras)



## Características de las células germinales primordiales :

- 1) similares a lo largo de la escala zoológica: a nivel morfológico, comportamental y molecular (expresión de genes específicos *tipo vasa, nanos, pumilo, etc.*)
- 2) se forman lejos del sitio de desarrollo de la gonada

### A nivel histológico

- Células grandes, núcleo prominente , 1 o 2 nucléolos
- Citoplasma: pobre en organelos



# GAMETOGENÉISIS

## Origen de las células germinales:

### Embriones

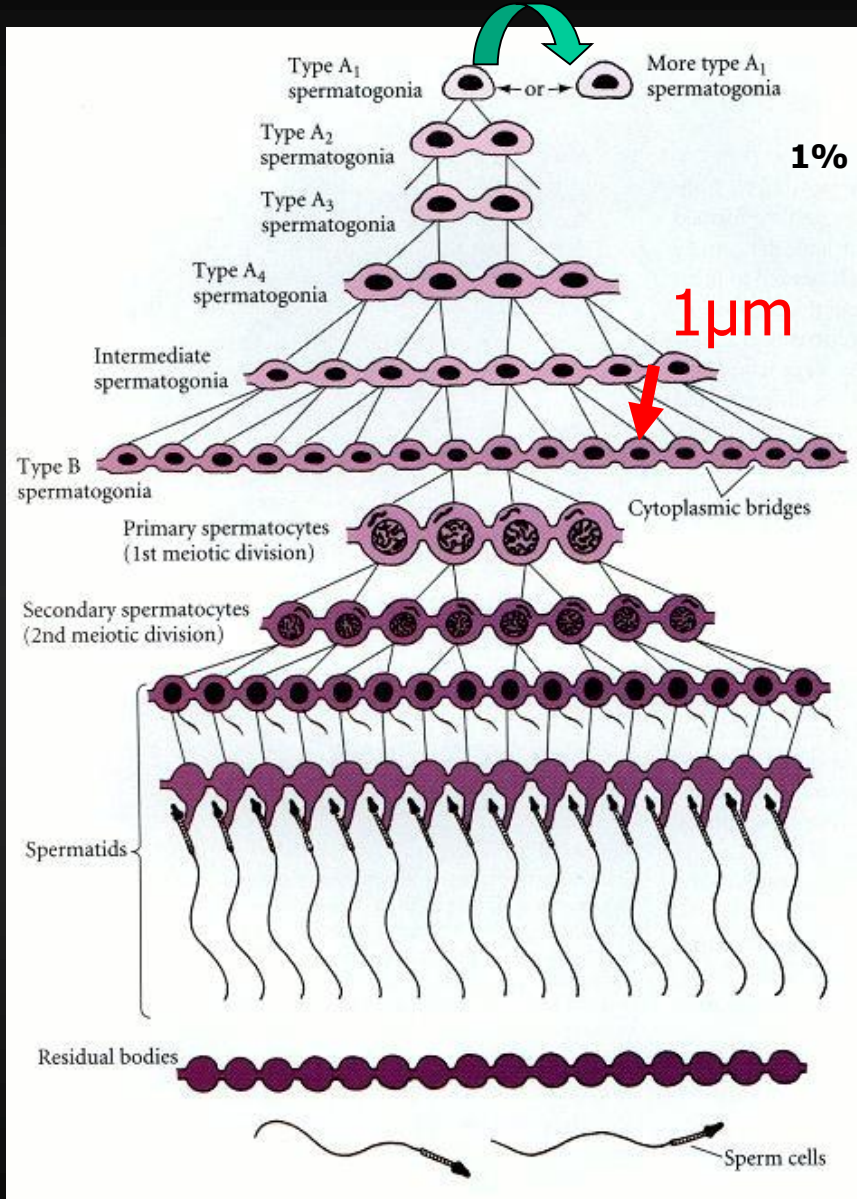
- células germinales primordiales (precursoras)
- migración hacia gonadas en formación

### Gonadas embrionarias

- incorporación (proliferación inicial por mitosis)
- diferenciación (dependiente del sexo)

## Isogamia / Anisogamia

# Espermatogénesis



Inicio  
Madurez sexual

(BMP8: nivel crítico - diferenciación)



ratones sin Bmp8: no inician espermatogénesis

Espermatogonias

G<sub>0</sub> hasta madurez sexual (inhibidores ciclo cel.)

MITOSIS

Espermatocitos primarios (MEI I)

Espermatocitos secundarios (MEI II)

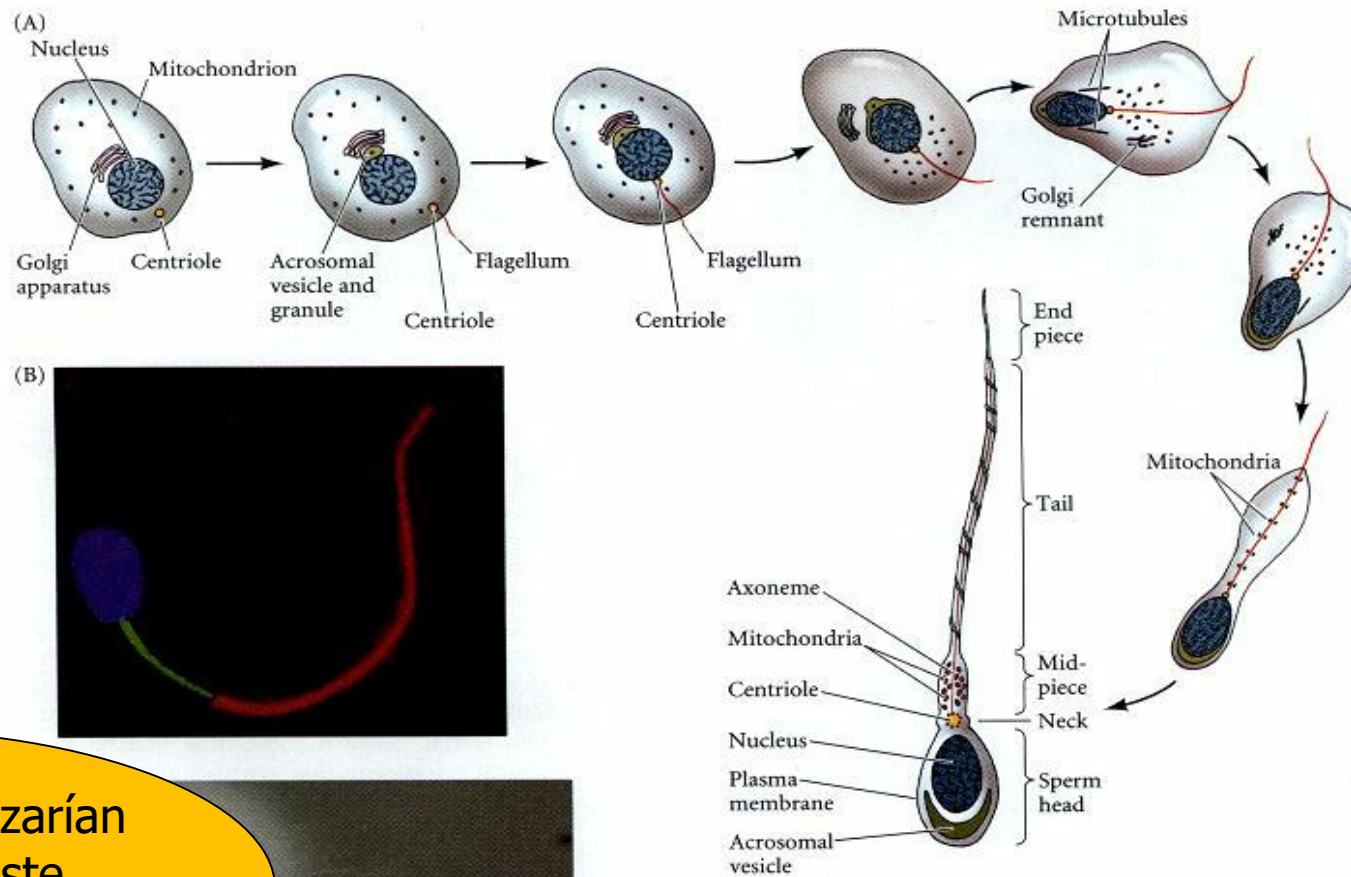
Espermátidas (haploides)



espermiogéneis

Espermatozoides

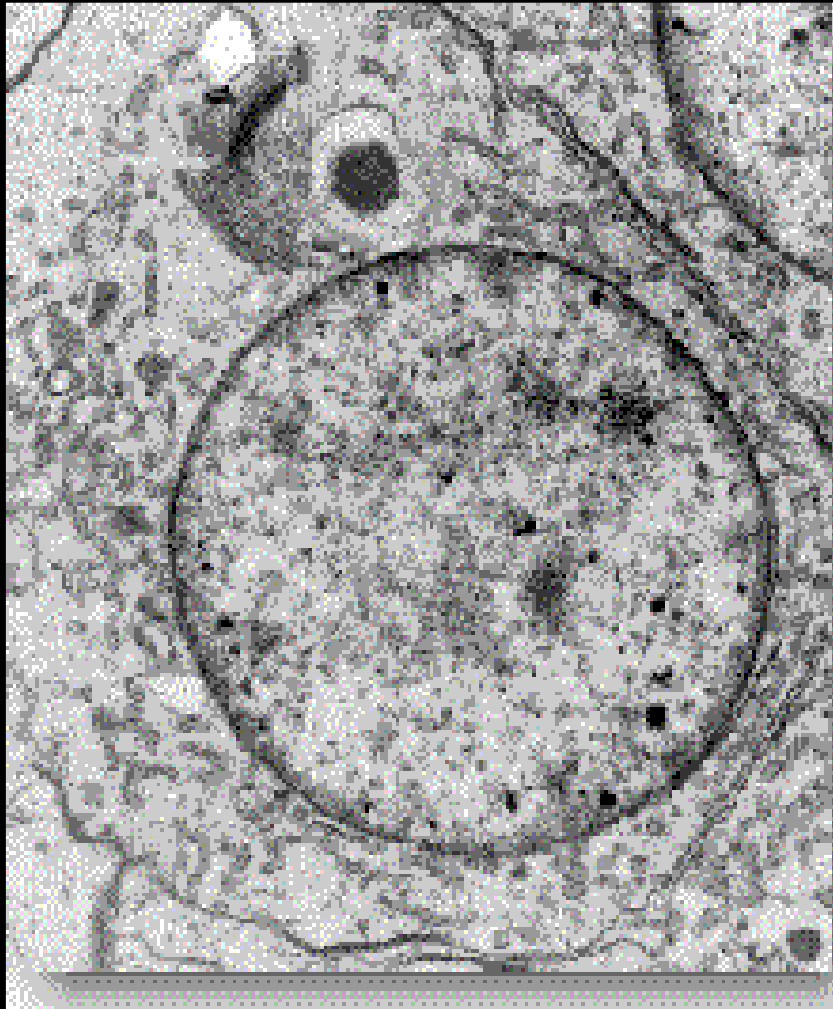
# Espermiogénesis



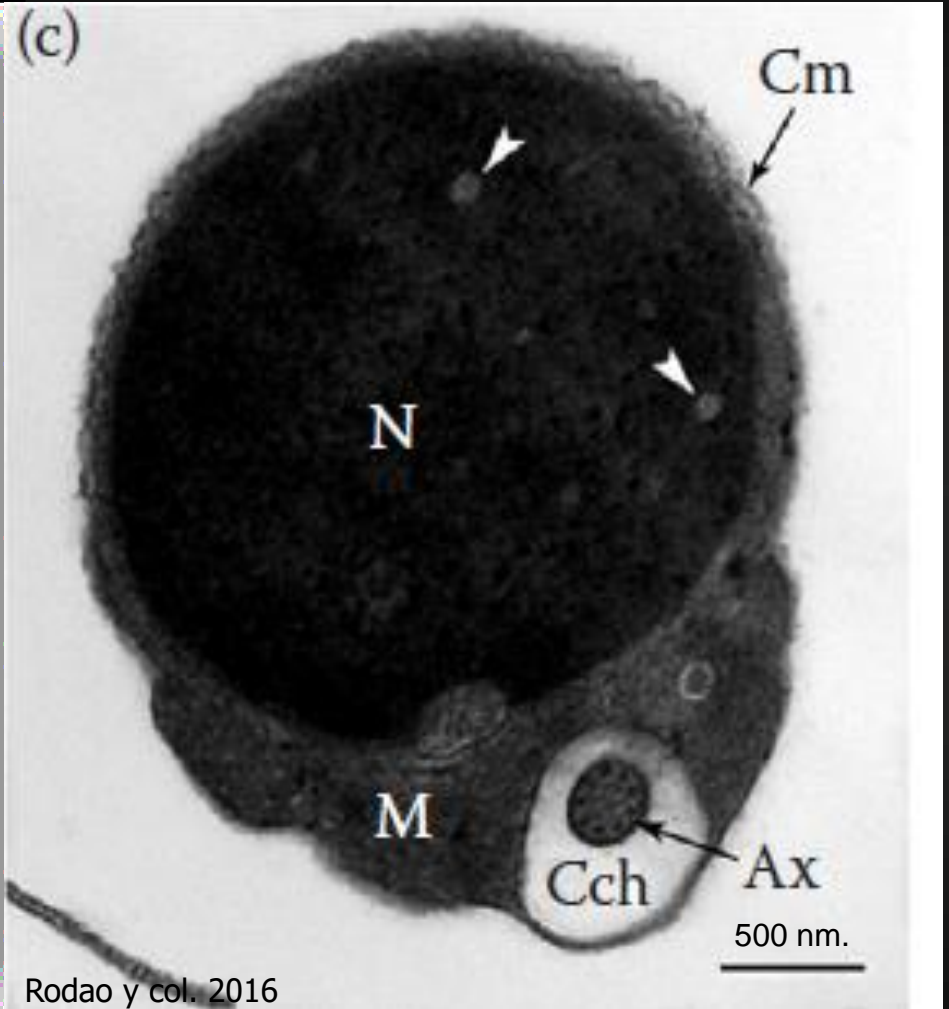
¿qué abordaje utilizarían para observar este proceso?  
2 pistas.....

- Formación de vesícula acrosómica (Aparato de Golgi)
- Condensación nuclear (histonas – protaminas) transcripción
- Eliminación citoplasma remanente; flagelo y pieza media (mitoc.)

## Espermátida temprana



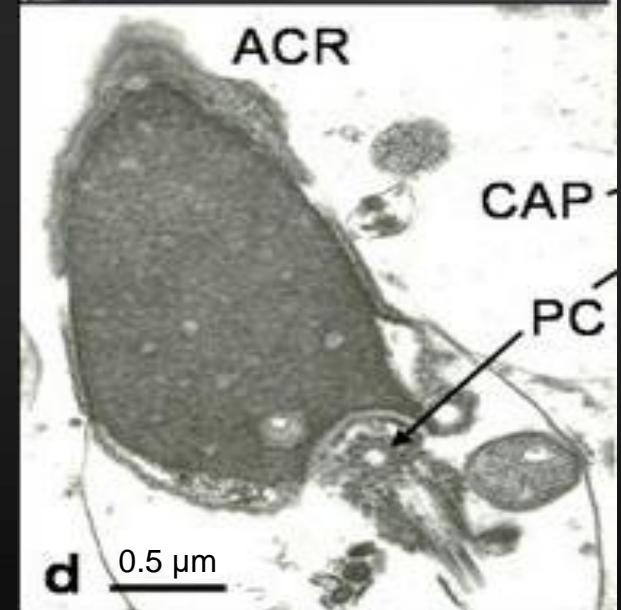
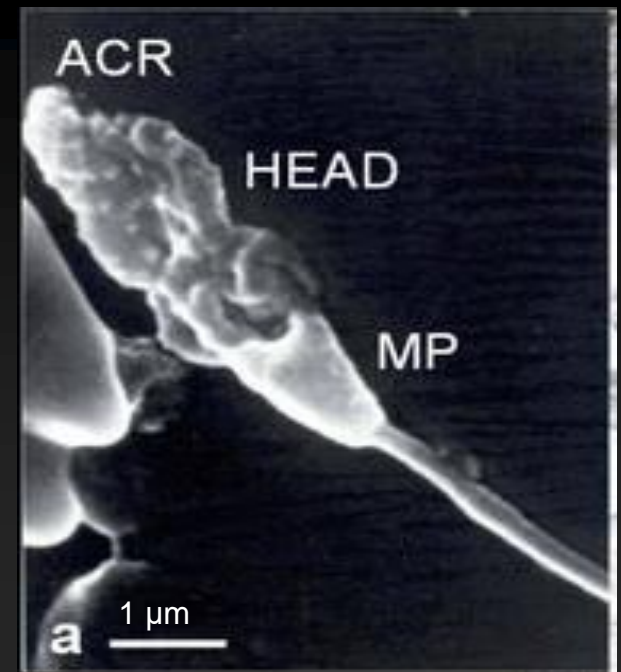
## Espermátida avanzada



Rodao y col. 2016



# Espermatozoide maduro



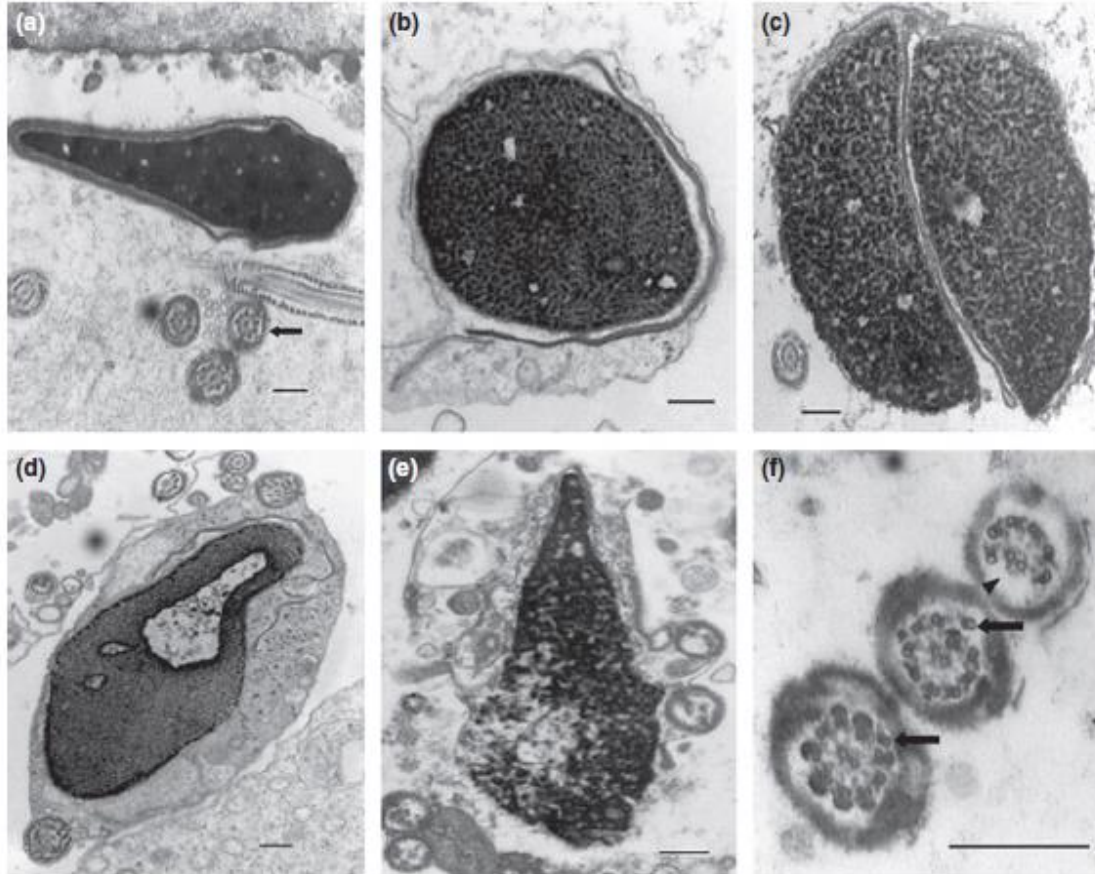
Acrosoma: ¿presente en todas la especies?





Mag. Gabriela Casanova  
 Facultad de Ciencias  
 Unidad de Microscopía electrónica

Dra. Rossana Sapiro  
 Dpto. de Histología  
 y Embriología  
 Facultad de Medicina



Ultraestructura  
 espermatozoide:

mejor indicador de  
 fertilidad en  
 humanos

Correlacionada con  
 daño en ADN

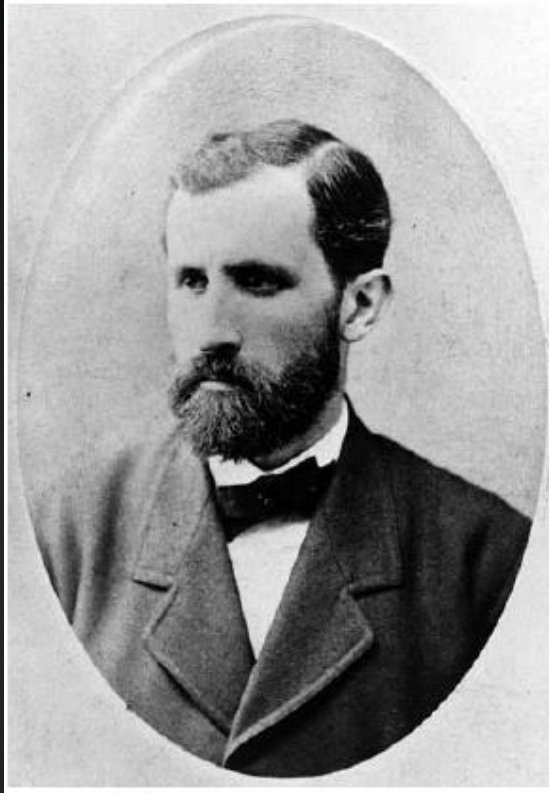
Naranja de acridina:

ADN doble cadena (250nm)  
 ADN simple cadena o ARN  
 (650nm)

**Fig. 1** Ultrastructural sperm characteristics. (a) Normal head; mature and well-compacted chromatin, normal shape and position of the acrosome. Normal tail, cytoskeleton complete and well organised. (b and c) Immature heads; b-granular chromatin. Altered acrosome, displaced far from the nucleus. (c) Binucleated head. The chromatin is also immature. (d) Severe lacunar defect of the chromatin (vacuoles) with abundant residual cytoplasm. (e) Signs of lysis; the chromatin appears disaggregated, plasma membrane is swelled and tails completely disorganised. (f) Cross-section of three tails; microtubular translocation (arrows) absence of one or more peripheral microtubules (arrow head). Bars: 500 nm.

Sapiro y col, 2012

# Protaminas



**1874 - Friedrich Miescher, MD**

Término protaminas = “ base orgánica”  
asociada al núcleo del espermatozoide  
de salmón





 **Nobelprize.org**

The Official Web Site of the Nobel Prize

Fisiol. y Medicina 1920

por sus contribuciones en el  
desciframiento de la  
química de ácidos nucleicos y  
proteínas

**1896 - Albrecht Kossel, BQ**

Naturaleza proteica de las  
protaminas





# Estructura primaria de protaminas

**A**

**Protostome protamine  
(invertebrate)**

**Mollusk**      Squid P1      :    ---\*-----20-----\*-----40-----\*-----60----- : 57 **75**

**Deuterostome protamine  
(vertebrate)**

**Fish**            Salmon P1      :    -----P\*-----S\*-----P\*-----G\*----- : 32 **66**

**Amphibian**      Newt P1        :    AYGR-ARS\*G\*SV\*RR\*RR\*-----GR\*SP\*GR\*RR\*---GR\*SD\*ND\*AP\*-----R\*RR\*RR\*RR\*Q\*----- : 43 **53**

                  Newt P2        :    ARGR---S\*RS\*SV\*RR\*RR\*-----GG\*SP\*RR\*RR\*RA\*---GR\*SQ\*RA\*G\*AG\*GL\*-----R\*RR\*H\*RR\*AD\*QE\*----- : 48 **50**

**Reptile**            Alligator P1    :    ARYERNRSRS\*SR\*RR\*RR\*WSNH\*--GG\*RY\*RR\*RR\*TR\*SR\*GR\*GR\*Y\*Q\*RR\*HH\*RG\*GS\*RR\*RR\*RR\*RR\*RR\*RR\*RR\*-- : 62 **63**

                  Alligator P2    :    ARYERNRSRS\*RR\*RR\*RR\*RGHR\*GG\*RY\*RR\*RR\*---R\*GR\*Y\*GR\*RR\*HH\*RG\*HS\*RR\*RR\*RR\*RR\*RR\*SD\*--- : 56 **70**

**Bird**              Chicken P1     :    ARYR-SR\*GR\*S\*SR\*TR\*RR\*RR\*SR\*SR\*GR\*RR\*RR\*PR\*RR\*SR\*RR\*RR\*RY\*GS\*ARR\*SR\*RR\*SG\*GV\*RR\*RR\*Y\*GS\*RR\*RR\*RR\*RY : 65 **58**

**Mammal**

**Prototheria**    Platypus P1    :    ARFRRSRSRS\*SLY\*RR\*RR\*RR\*RR\*RR\*GG\*R\*Q\*TR\*SR\*KL\*SR\*SR\*RR\*GR\*SR\*RR\*KG\*RR\*SR\*RR\*SS\*RR\*SR\*RR\*RN\*----- : 60 **58**

**Metatheria**    Opossum P1    :    ARYR-RRSRS\*RS\*RS\*RY\*GR\*RR\*RR\*RR\*SR\*RR\*RR\*RR\*RR\*RR\*---RR\*GR\*RR\*GG\*Y\*HR\*RR\*SP\*HR\*RR\*RR\*RR\*RR\*----- : 57 **68**

**Eutheria**        Human P1      :    ARYRCCRSQS\*---SP\*Y\*-----Y\*QH\*QRS\*RR\*RR\*RR\*SC\*Q\*TR\*RR\*AM\*RC\*CO\*PR\*YR\*PR\*CR\*RH : 50 **50**

                  Human P2      :    ---R\*TH\*G\*Q\*S\*Q\*Y\*RR\*RR\*HC\*SR\*RR\*LL\*-----H\*RI\*H\*RR\*Q\*HR\*SC\*RR\*RR\*KR\*RR\*SC\*H\*RR\*RR\*RR\*RR\*GC\*TR\*KR\*TR\*CR\*RH : 57 **63**

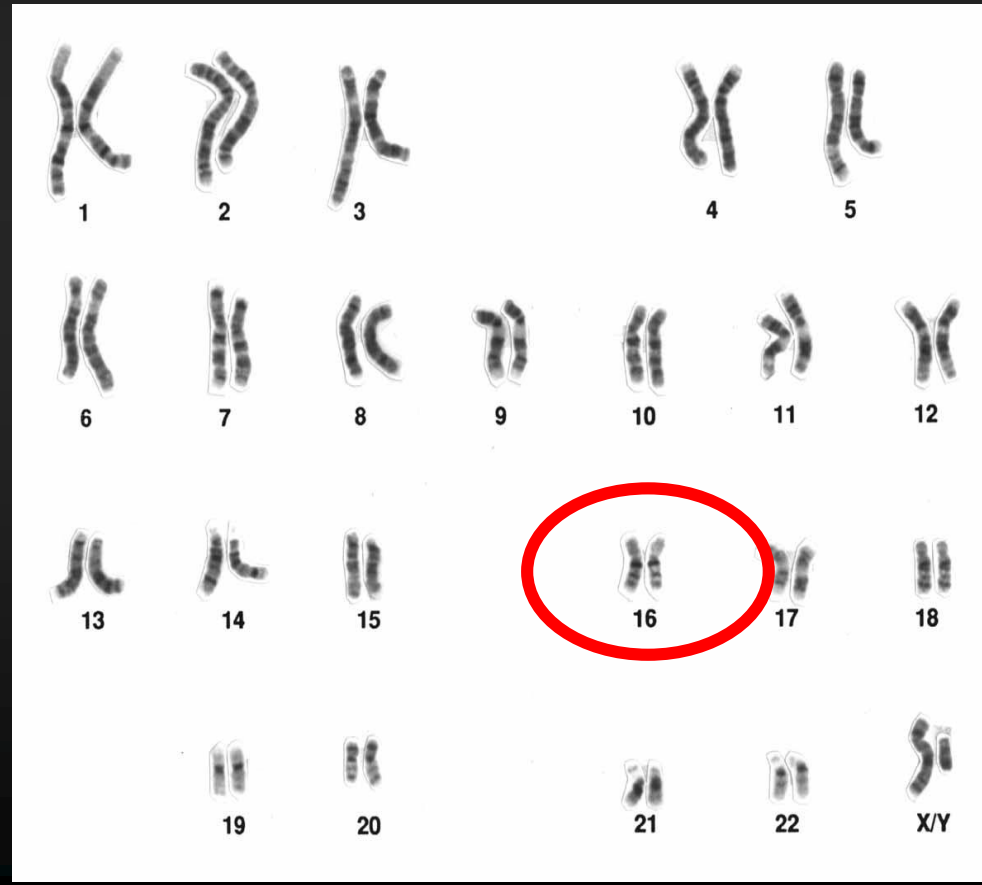
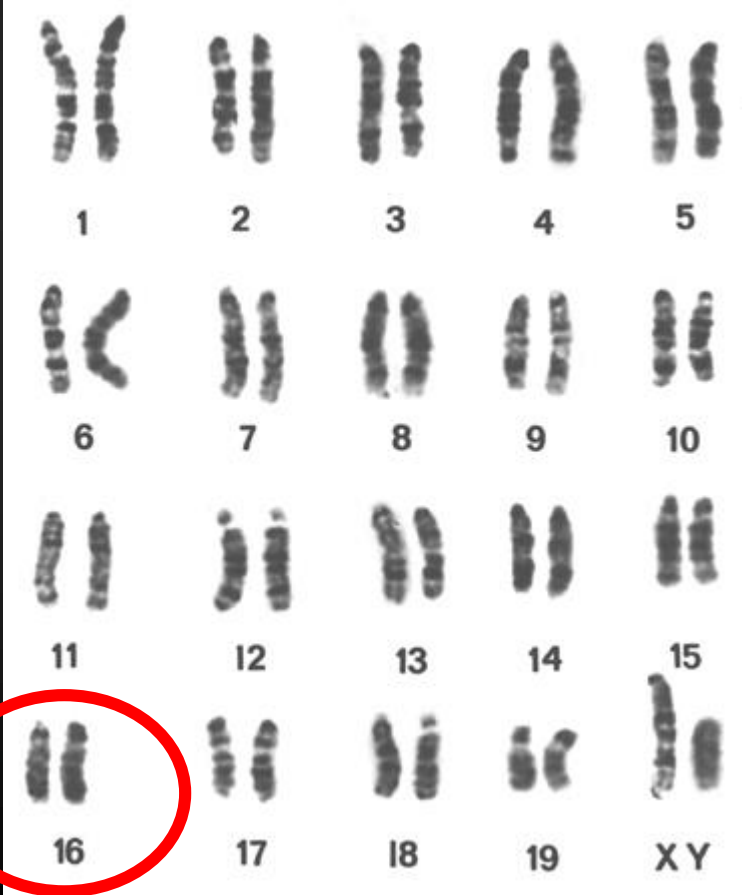
↑ % aa básicos

Lewis y col. 2003

- Proteínas de aprox 50 aa
- Unión con ADN: surco mayor, 15 pb
- Neutralizan carga negativa = máxima compactación (apagado total de la transcripción)
- Alto contenido de arginina, alta heterogeneidad de sec = alta tasa evolutiva
- Alargamiento de la secuencia en la evolución de vertebrados



# Genes ubicados en autosomas







Genes protaminas :  
sin intrones

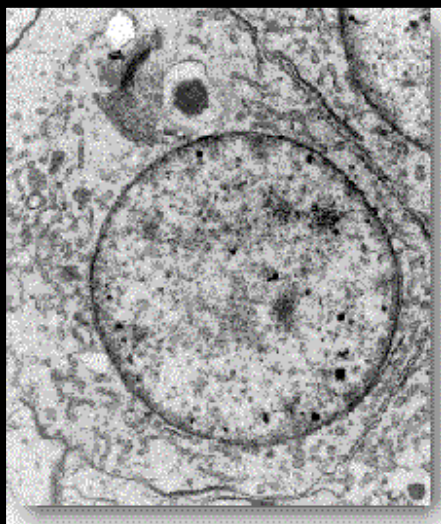


Genes protaminas :  
con intrones

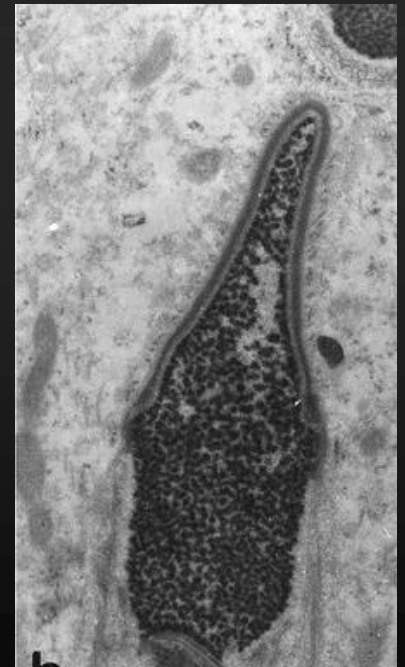




Síntesis  
ARNm



Traducción  
del mensajero





# Espermatogénesis en vertebrados

## Anamniotas = en cistos

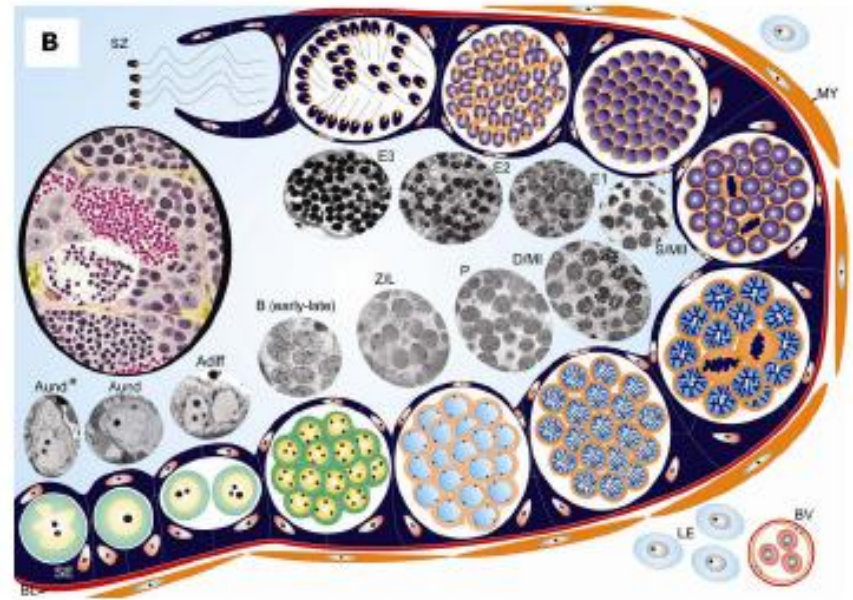
Peces, anfibios

Grupo cél de Sértoli: engloban a un grupo de células germinales en el mismo estadio de diferenciación

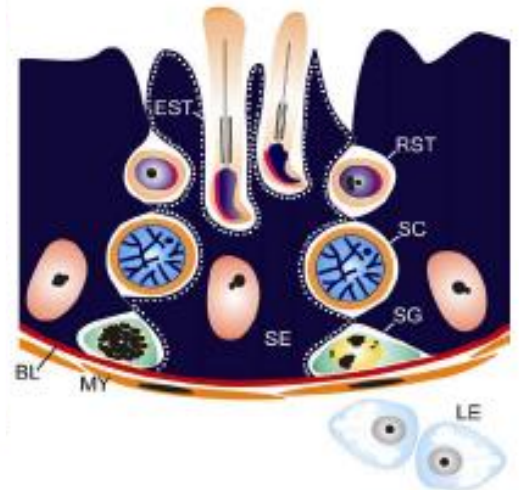
## Amniotas = en onda

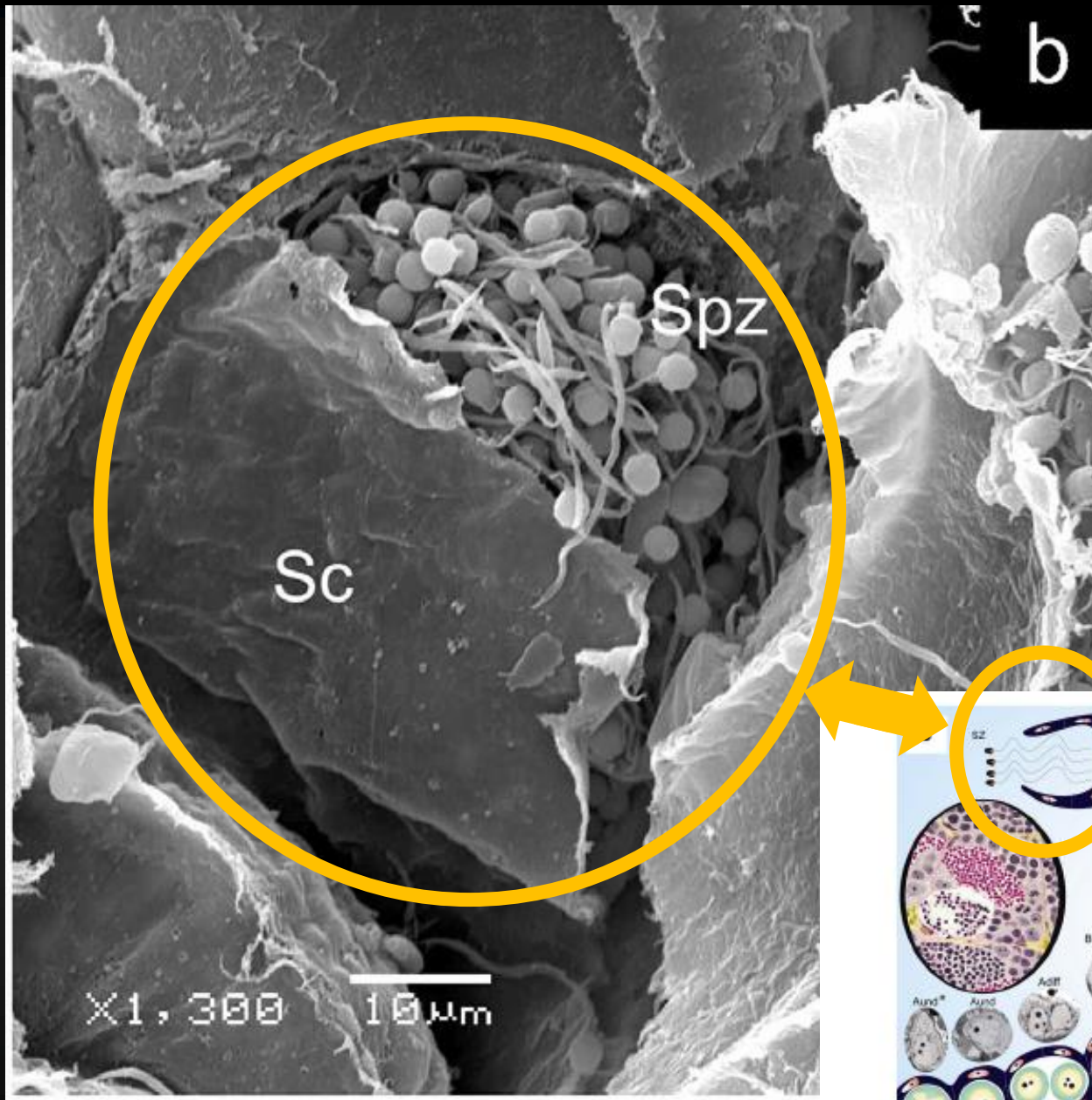
Reptiles, Aves y mamíferos

1 cél de Sértoli: varias células germinales en diferentes estadios de maduración



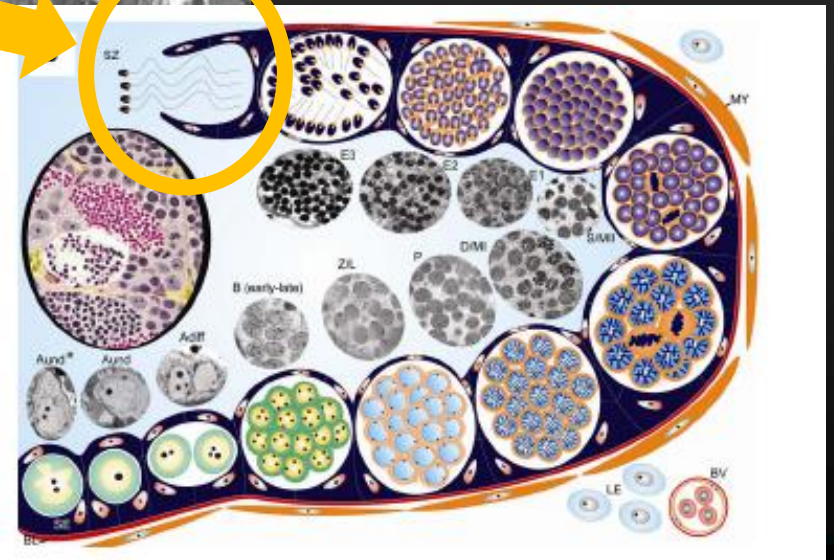
Cortes de túbulos seminíferos





*Austrolebias charrua*

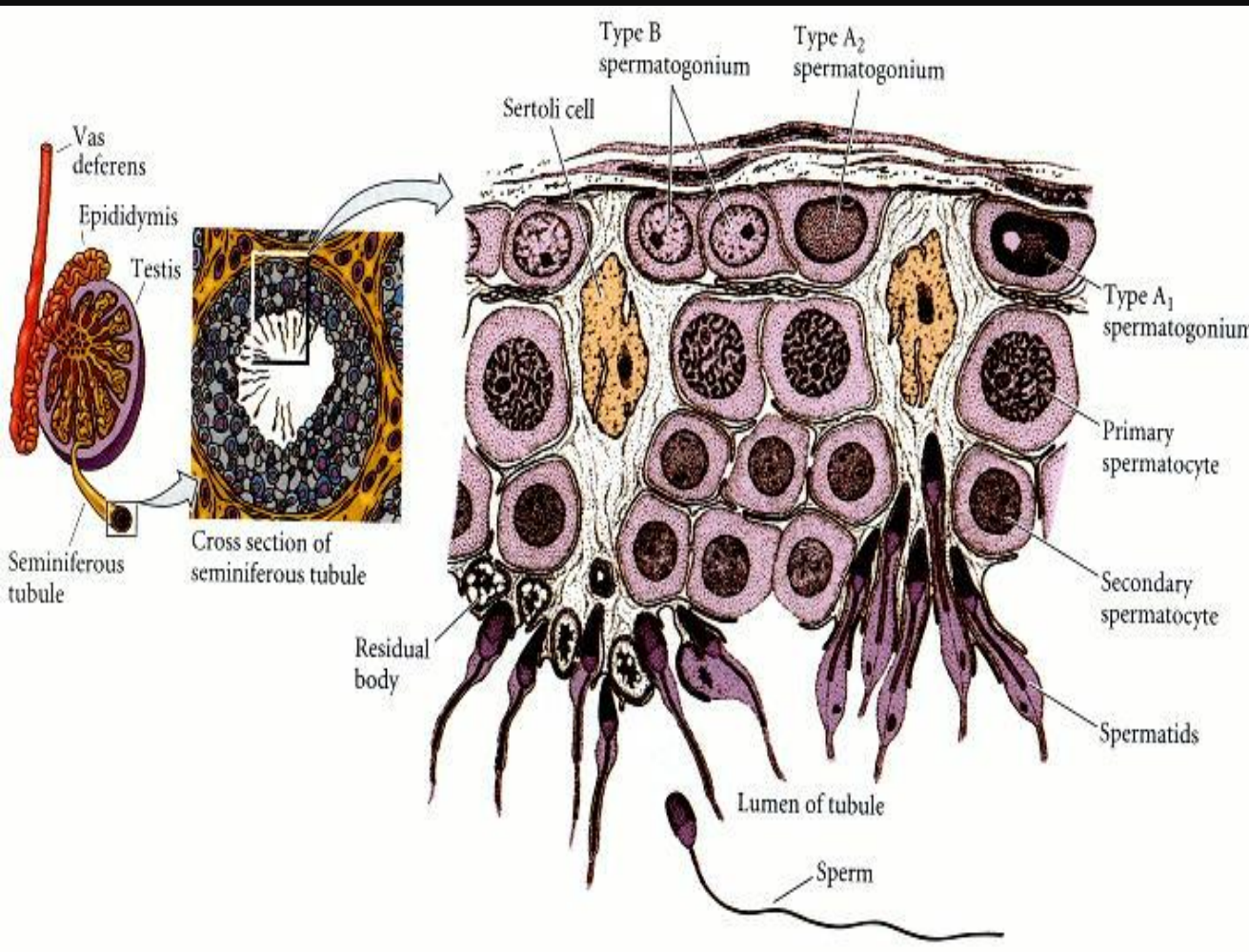
Berois y col. 2016



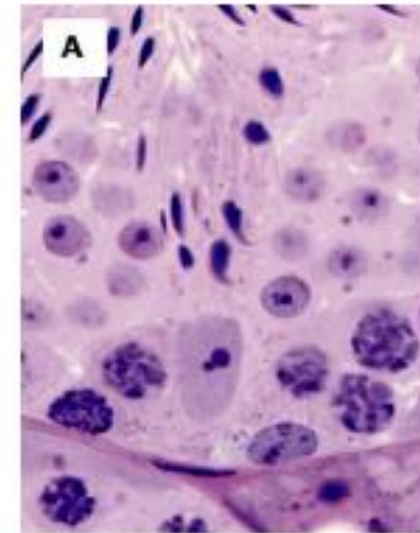
(Arezo y col. 2007)



# Epitelio seminífero en mamíferos



Humanos: 65 días  
Ratón: 34,5 días



Espermatogonias: membrana basal  
Espermatozoides: luz del túbulo seminífero





*Rana esculenta*: 41 días

[www.naturfoto.cz](http://www.naturfoto.cz)

*Amphipolis kochii*: 14 días



BIODIDAC © P. Crawford, UPEI

**1678** Anton van Leeuwenhoek

- parásitos que vivían en el semen



**1685** Nicolas Hartsoeker

- embrión preformado



**1824** J.L. Prevost y J.B. Dumas

- existencia de espermatozoides en machos maduros

**1827** Karl Ernst Von Baer

- ovocito folículo canino



**1876** O. Hertwig y H. Fol

- demuestran entrada de espermatozode al ovocito



# Ovogénesis

Inicio: desarrollo embrionario

## Ovogonias

autorrenovación vs. número limitado

## Ovocito primario

detenido hasta madurez sexual  
(vitelo, cubiertas, gránulos corticales)

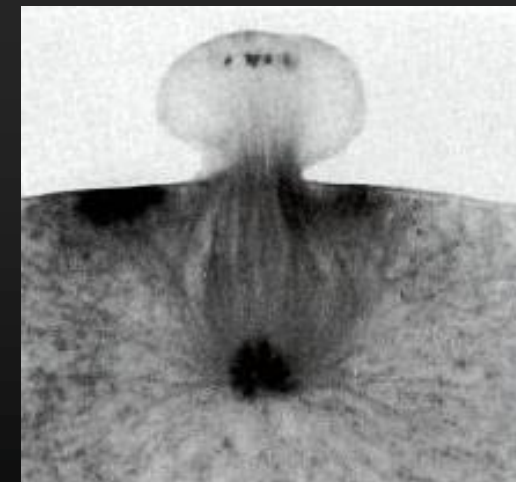
Progesterona – activación MPF (ciclina B/cdk1)

## Ovocito secundario

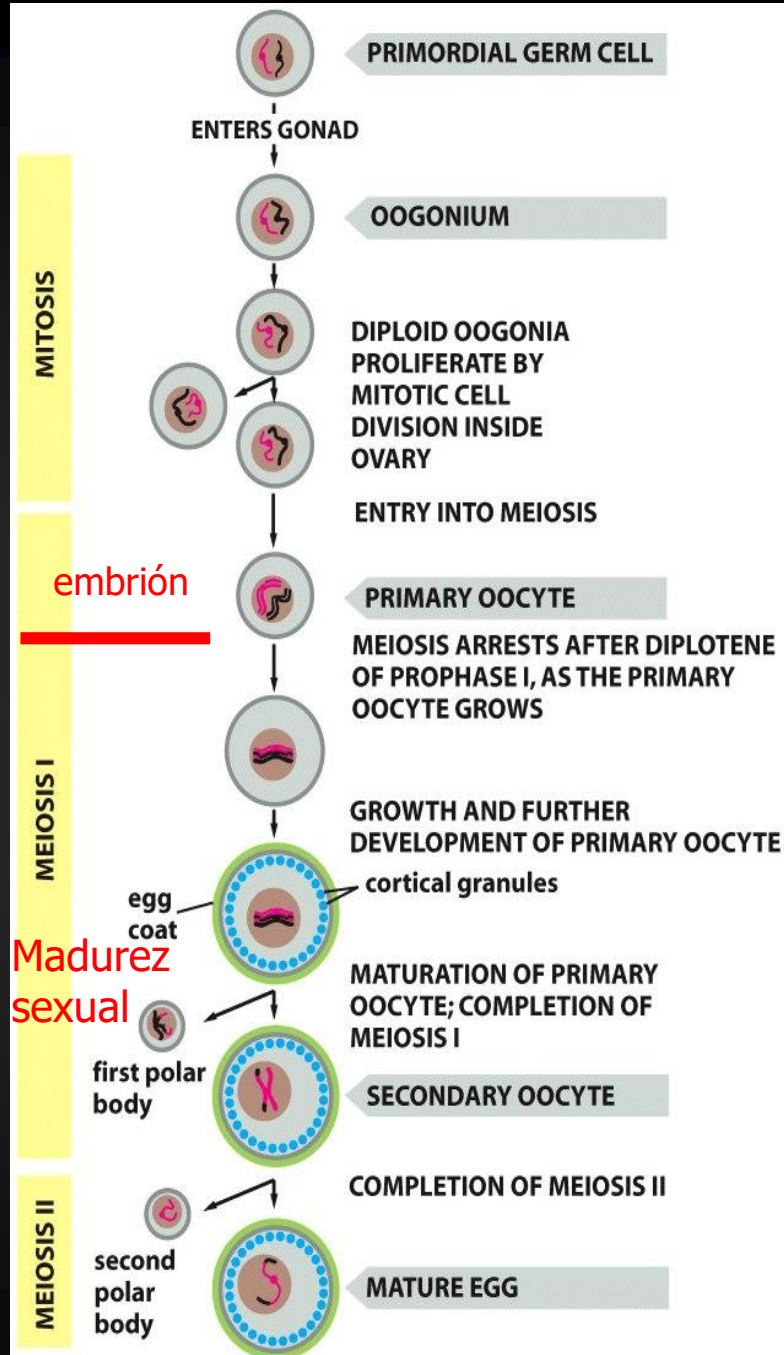
detenido en metafase II  
**ovulación**

(mayoría de los vertebrados)

Balance final ovogénesis

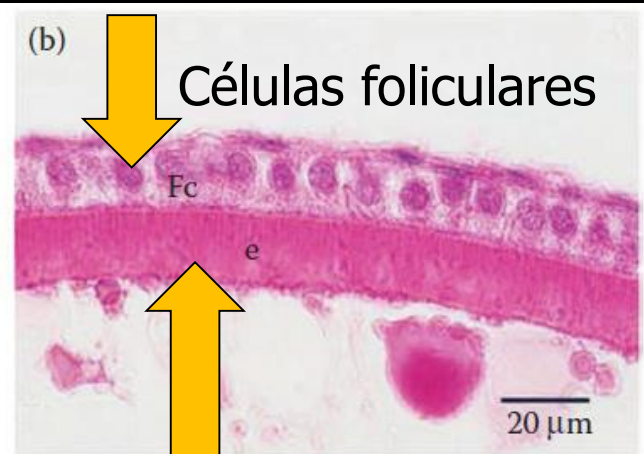
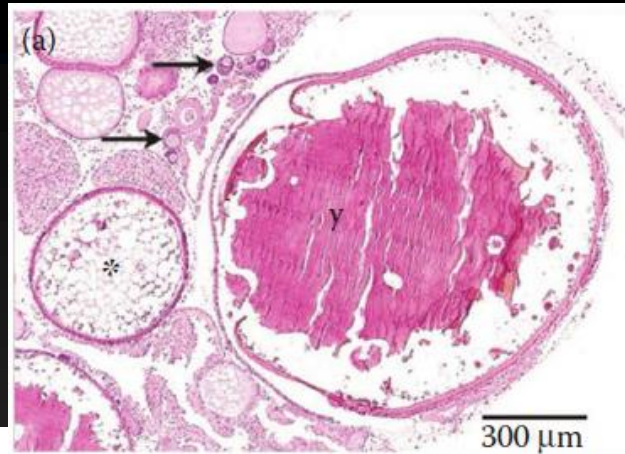


cuerpo polar





# Peces



Rodao y col. 2016

Envoltura vitelina

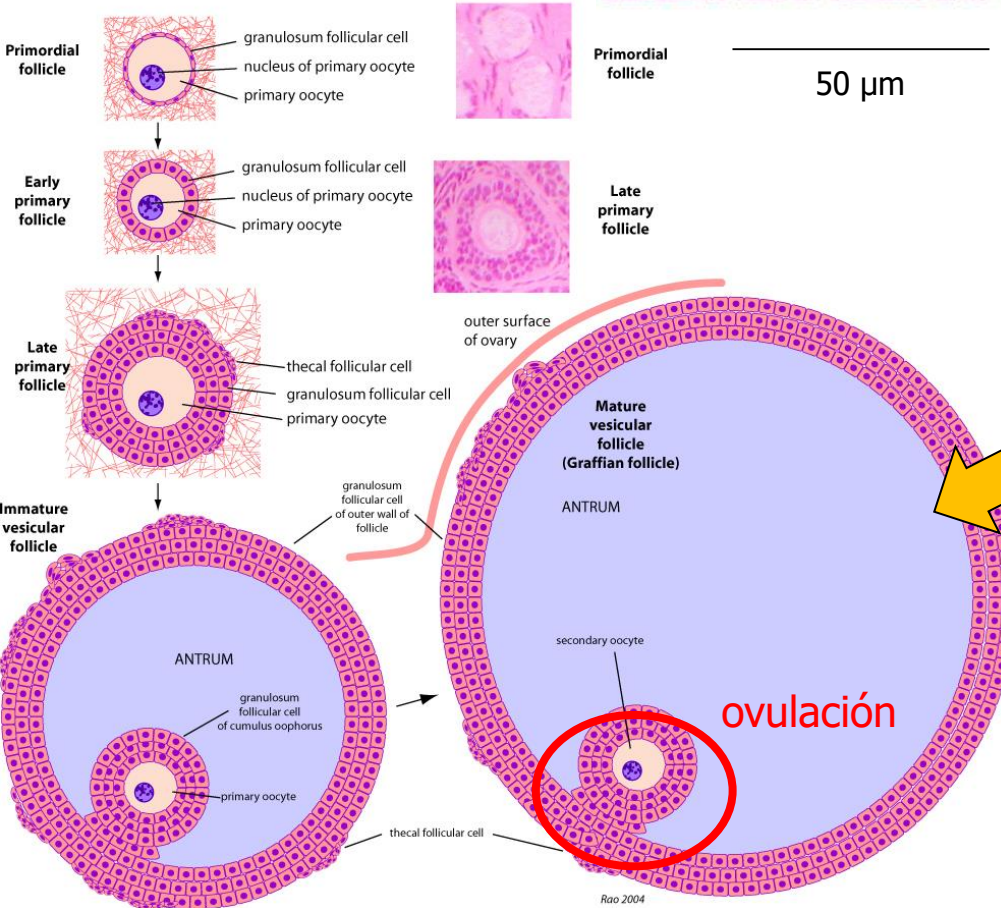
Células foliculares

Ovulación:  
ovoito + células foliculares (granulosa)

Zona pelúcida entre membrana ovocitaria  
y células foliculares (granulosa)

Mamíferos

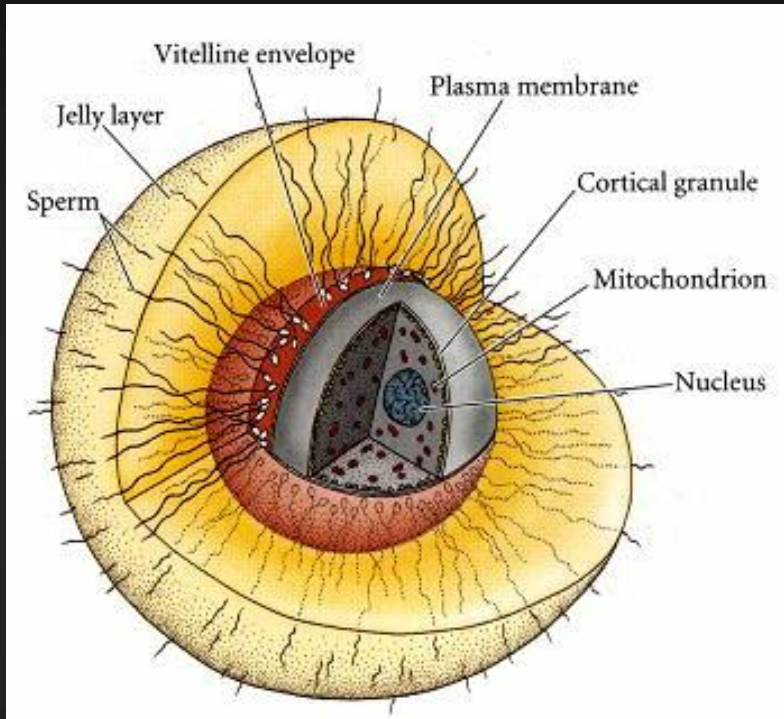
## Stages and components of ovarian follicles



Rao 2004

# Inversión en reproducción sexual: Costos/ beneficios

## Ovocito de erizo de mar



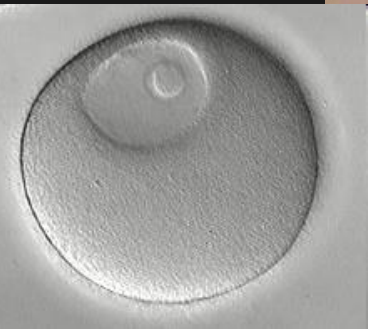
### Gran tamaño:

- divisiones asimétricas
- copias génicas extra
- genes ARNr amplificados
- vitelo (células accesorias)

- alto consumo energético
- pasaje del 50% de los genes
- riesgos de predación
- éxito evolutivo: beneficios



# Ovocito de mamífero: alecito

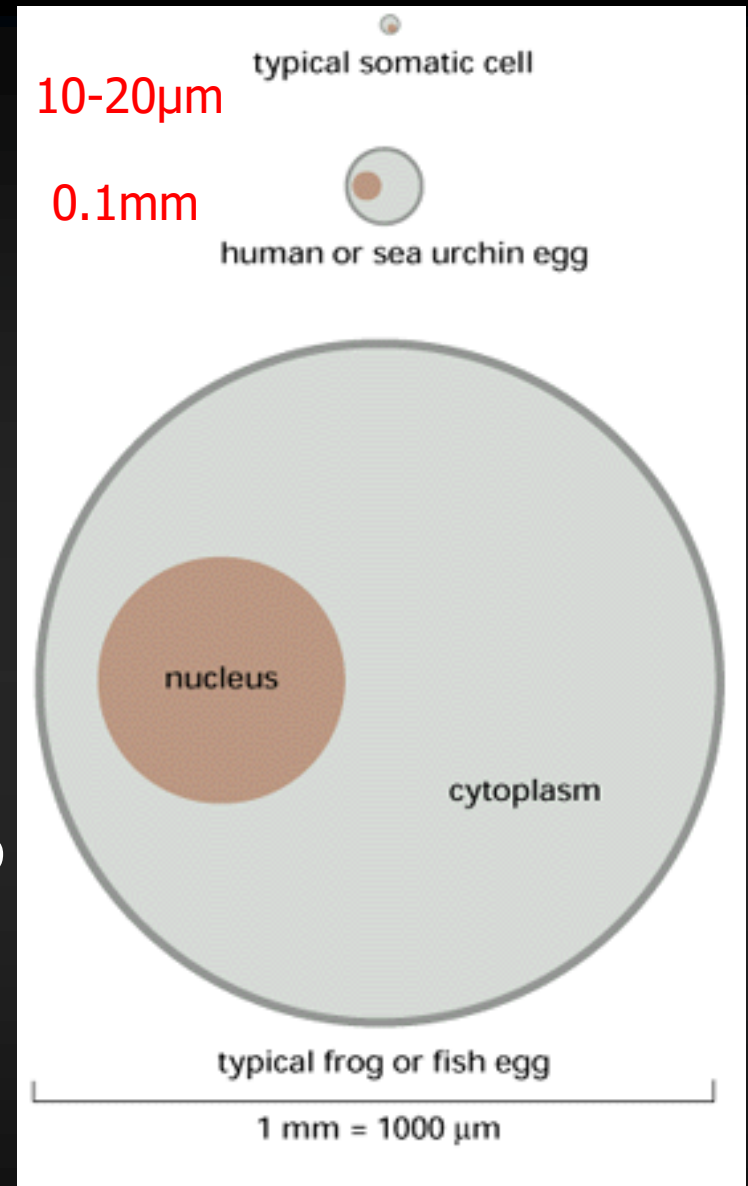
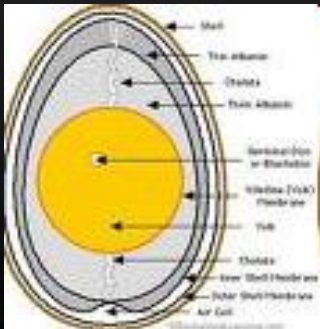


Ovocito de equinodermo: oligolecito



Ovocitos de anfibio: mesolecito

Ovocito de aves: telolecito



Dimensiones ovocitarias relativas

# Ovogénesis en mamíferos



**1870 - W. Waldeyer**

**Hipótesis:** ovogénesis cesa poco después del nacimiento

ovogonias = n<sup>o</sup> limitado



**1951 - S. Zuckerman**

Dogma central de la biología reproductiva de mamíferos:



hembras mamíferas pierden la capacidad de producir ovocitos durante el desarrollo embrionario, por lo tanto, nacen con un número limitado de éstos.

\* Disparidad evolutiva = hecho curioso

# Germline stem cells and follicular renewal in the postnatal mammalian ovary

Joshua Johnson<sup>+</sup>, Jacqueline Canning<sup>+</sup>, Tomoko Kaneko, James K. Pru & Jonathan L. Tilly

2004



**Jonathan L. Tilly**

**Director**

Vincent Center for Reproductive Biology

**Chief**

Division of Research, Vincent Obstetrics & Gynecology Service,  
Massachusetts General Hospital

**Associate Professor**

Department of Obstetrics, Gynecology & Reproductive Biology,  
Harvard Medical School

Debate análogo (década de los 90) campo de  
la Neurociencia: neurogenesis en adultos

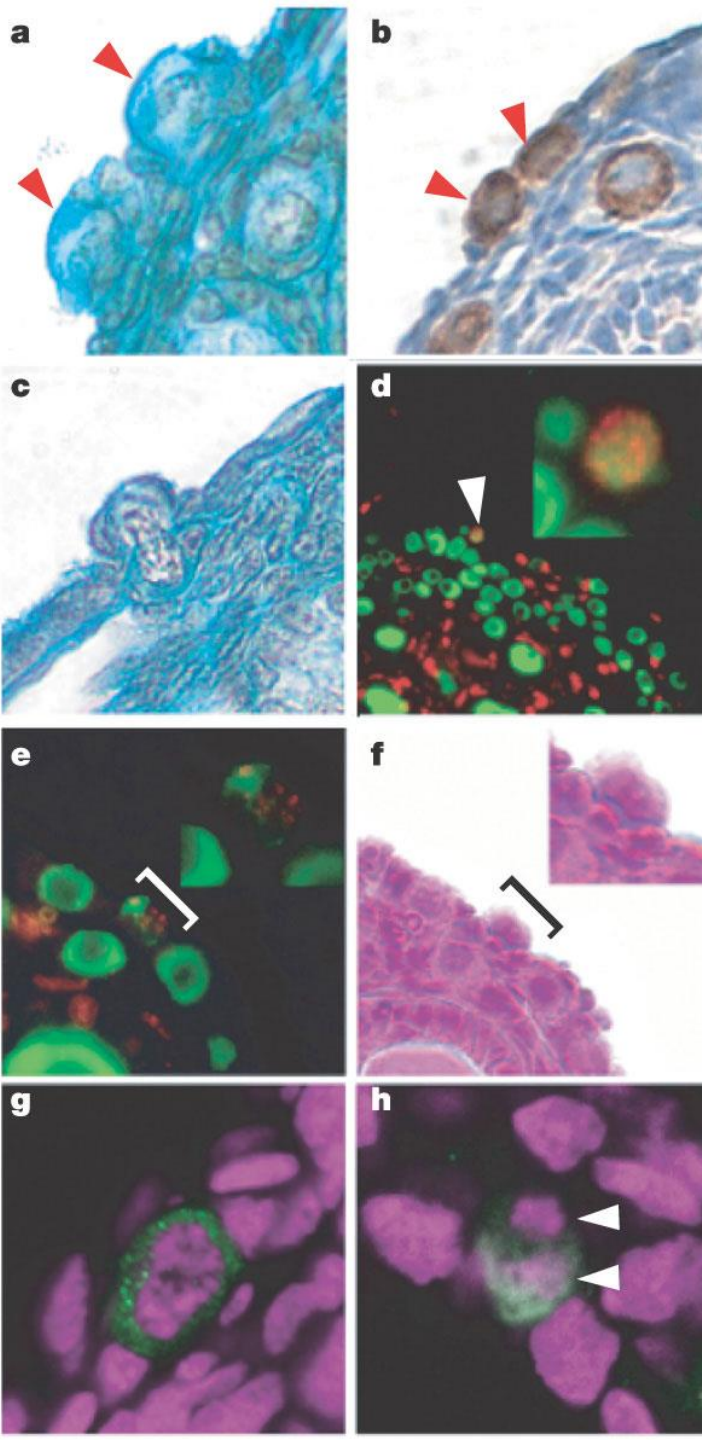
# ¿Células madre germinales en ovarios postnatales?



1. Análisis histológicos (ovarios juveniles y adultos)
2. Análisis de inmunodetección (proteína tipo Vasa)
3. Análisis del potencial proliferativo (inyección con BrdU, doble inmunodetección **BrdU Vasa**)



- existencia de células germinales presuntivas
- capacidad de proliferación



# Artículos publicados en 2020



## ARTICLE



<https://doi.org/10.1038/s41467-020-14936-3>

OPEN

## Single-cell analysis of human ovarian cortex identifies distinct cell populations but no oogonial stem cells

Magdalena Wagner<sup>1</sup>, Masahito Yoshihara<sup>2</sup>, Iyadh Douagi<sup>3,9</sup>, Anastasios Damdimopoulos<sup>4</sup>, Sarita Panula<sup>1</sup>, Sophie Petropoulos<sup>1,5</sup>, Haojiang Lu<sup>1</sup>, Karin Pettersson<sup>1</sup>, Kerstin Palm<sup>1,6</sup>, Shintaro Katayama<sup>2</sup>, Outi Hovatta<sup>1</sup>, Juha Kere<sup>2,7</sup>, Fredrik Lanner<sup>1,8,10</sup> & Paulina Damdimopoulou<sup>1,10</sup>

The human ovary orchestrates sex hormone production and undergoes monthly structural changes to release mature oocytes. The outer lining of the ovary (cortex) has a key role in defining fertility in women as it harbors the ovarian reserve. It has been postulated that putative oogonial stem cells exist in the ovarian cortex and that these can be captured by DDX4 antibody isolation. Here, we report single-cell transcriptomes and cell surface antigen profiles of over 24,000 cells from high quality ovarian cortex samples from 21 patients. Our data identify transcriptional profiles of six main cell types; oocytes, granulosa cells, immunocytes, endothelial cells, perivascular cells, and stromal cells. Cells captured by DDX4 antibody are perivascular cells, not oogonial stem cells. Our data do not support the existence of germline stem cells in adult human ovaries, thereby reinforcing the dogma of a limited ovarian reserve.

## BRIEF COMMUNICATION

Open Access



## Ovary does harbor stem cells - size of the cells matter!

Journal of Ovarian Research

Deepa Bhartiya<sup>\*</sup> and Diksha Sharma

### Abstract

A recent study published in the journal *Nature Communications* from Karolinska Institute, Sweden was unable to detect stem cells in adult human ovarian cortex by single-cell RNAseq and by studying cell surface antigen profiles by flow cytometry studies. Their findings are startling since stem cells have been well characterized in the adult mammalian ovary of several species including mouse, rabbit, monkey, sheep, pig and humans. Ovarian stem cells include pluripotent, very small embryonic-like stem cells (VSELs) and slightly bigger ovarian stem cells (OSCs) which are easily visualized in smears obtained by gently scraping the ovary surface. The potential of ovarian stem cells to differentiate into oocyte-like structures in vitro and also resulting in the birth of mouse pups has been reported. A possible role of ovarian VSELs in initiation of ovarian cancers has also been delineated. The ovarian stem cells can also be collected by enzymatic digestion of ovarian tissue for various studies, taking care to always pellet the cells suspension at 1000 g since this high speed is required to collect the small-sized stem cell populations (VSELs & OSCs) with high nucleo-cytoplasmic ratio. These stem cells invariably get discarded when cells suspension is spun at lower speed. The cells were spun at 300 g for various experiments in the Karolinska study and this is the underlying reason for their negative results. Stem cells were inadvertently and unknowingly discarded and never got analyzed by single-cell RNAseq and flow cytometry experiments. To conclude, stem cells surely exist in adult mammalian ovary and their role during neo-oogenesis and primordial follicle assembly under physiological conditions is currently being investigated.

**Keywords:** Ovary, Stem cells, Very small embryonic-like stem cells (VSELs), Ovarian stem cells (OSCs)

....aún en debate...



# Dimorfismo sexual en la gametogénesis de mamíferos

## *Ovogénesis*

Meiosis iniciada en etapa embrionaria

Un solo gameto funcional

Finalización de la meiosis demora meses o años  
(duración: especie-específica)

Diferenciación gamética ocurre en fase diploide

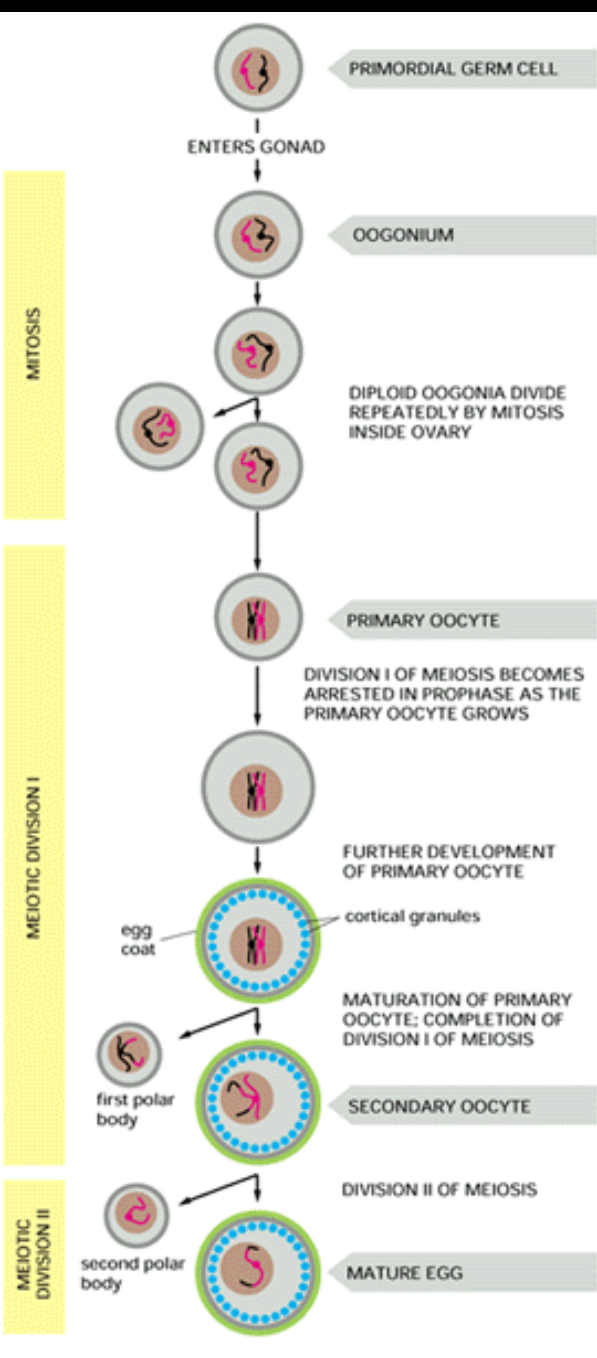
## *Espermatogénesis*

Meiosis iniciada en madurez sexual

Cuatro gametos funcionales

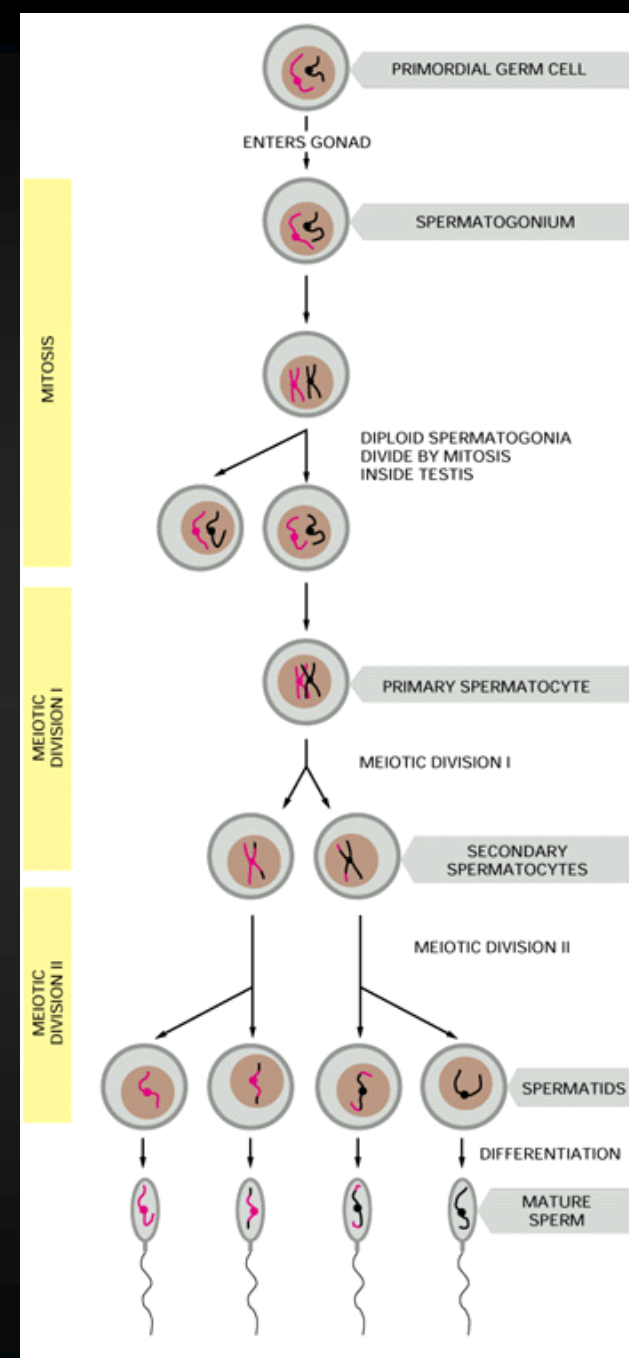
Meiosis completada en días o semanas (duración: especie-específica)

Diferenciación gamética ocurre en fase haploide



# Ovocitos y espermatozoides

altamente especializados  
optimización opuesta



*“Los elementos que se unen son simples células, cada una al borde de la muerte, pero mediante su unión un nuevo individuo se forma, el cual constituye un nexo en el eterno proceso de la vida”*

F.R. Lillie, 1919.



# Fecundación

*unión de gametos*

- 1) reproducción (creación de nuevo organismo)
- 2) combinación de genes maternos y paternos



# Modelos de estudio:



# Etapas

- 1. Reconocimiento espermatozoide-ovocito**
- 2. Regulación de la entrada de los espermatozoides al ovocito**
- 3. Fusión del material genético**
- 4. Activación del metabolismo ovocitario e inicio del desarrollo embrionario**

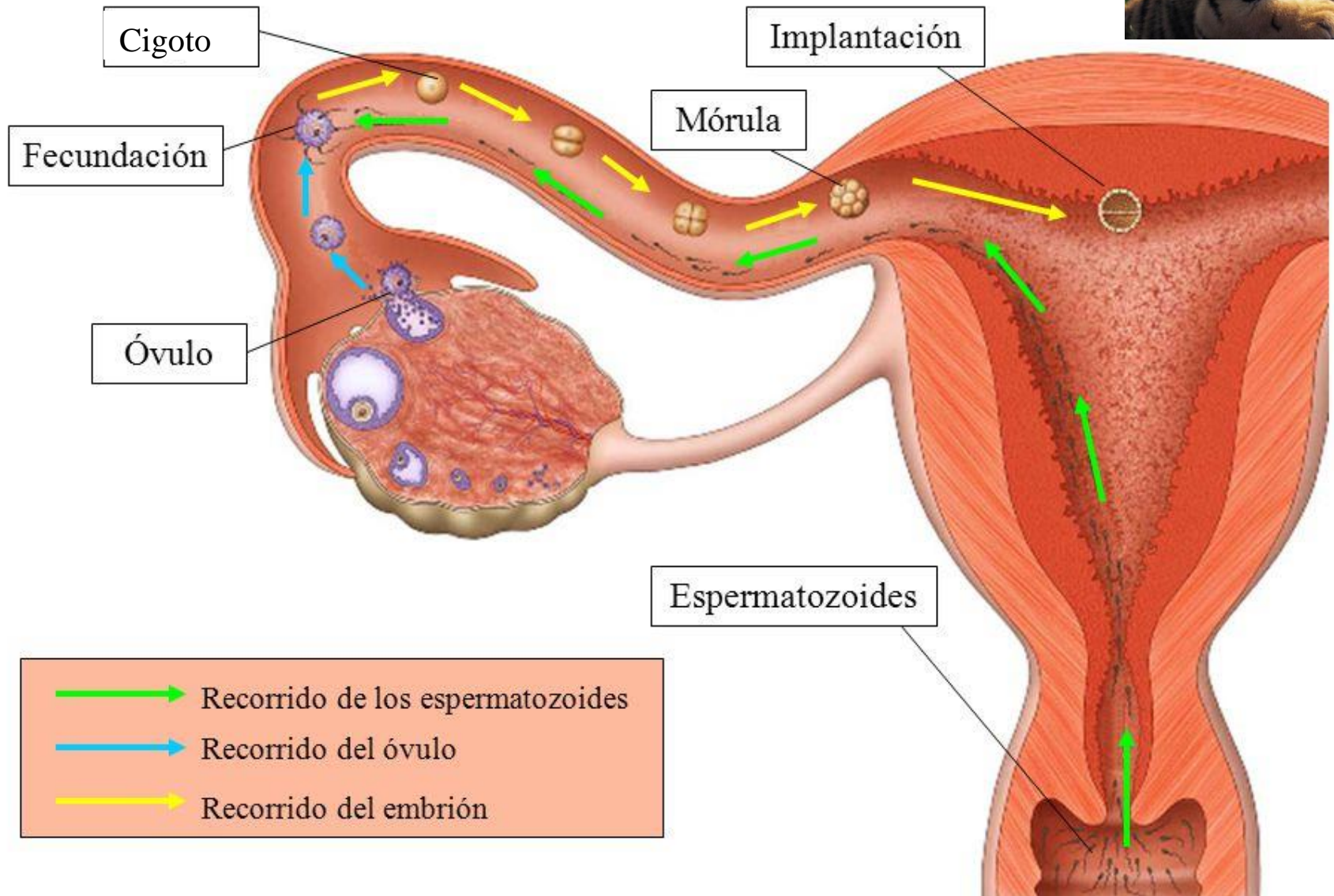
¿Dónde ocurren estas etapas?



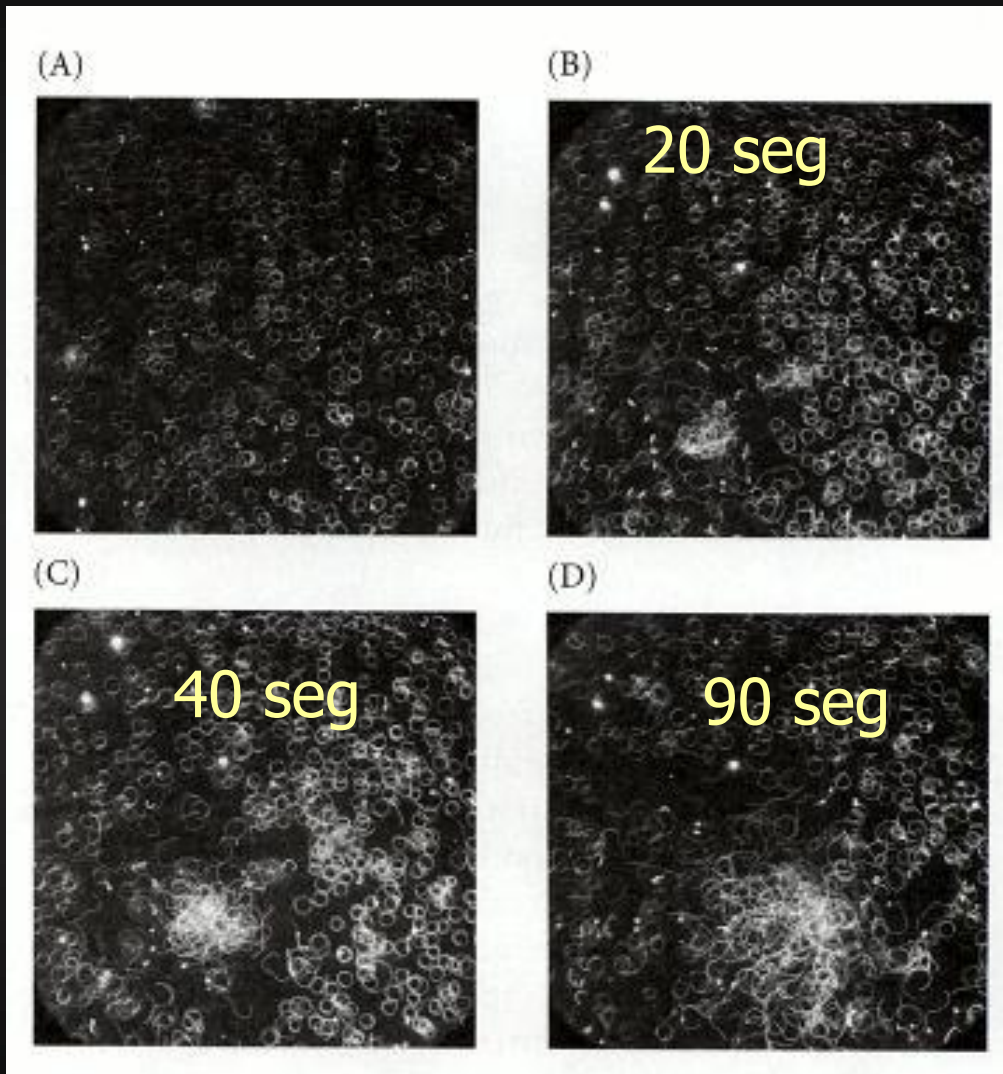




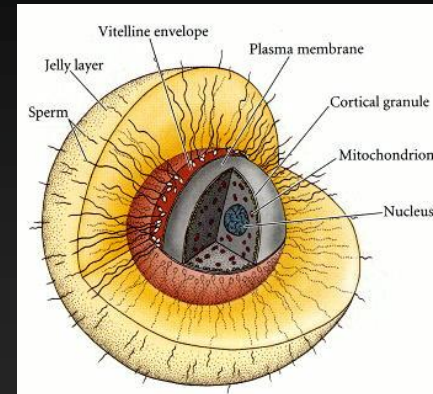
# Fecundación e implantación



# 1. Reconocimiento espermatozoide-ovocito



1 nl de resact 10 nM



Erizo de mar

- Atracción especie-específica (quimiotaxis)

*Arbacia punctulata*

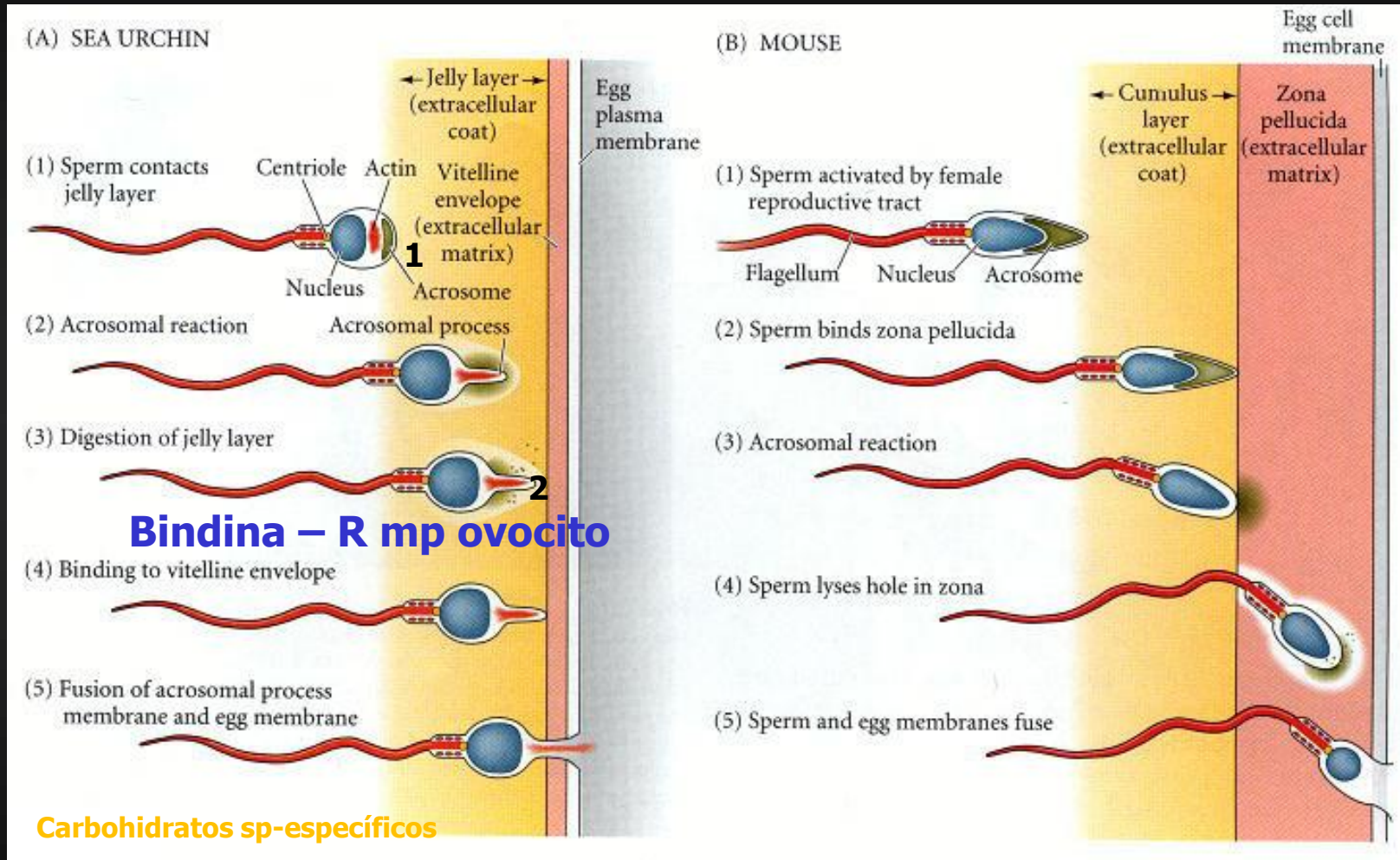
Resact: cubierta gelatinosa (14 aa)

Mamíferos

- Atracción a sitios más cálidos (termotaxis)
- Quimiotaxis: 2da etapa



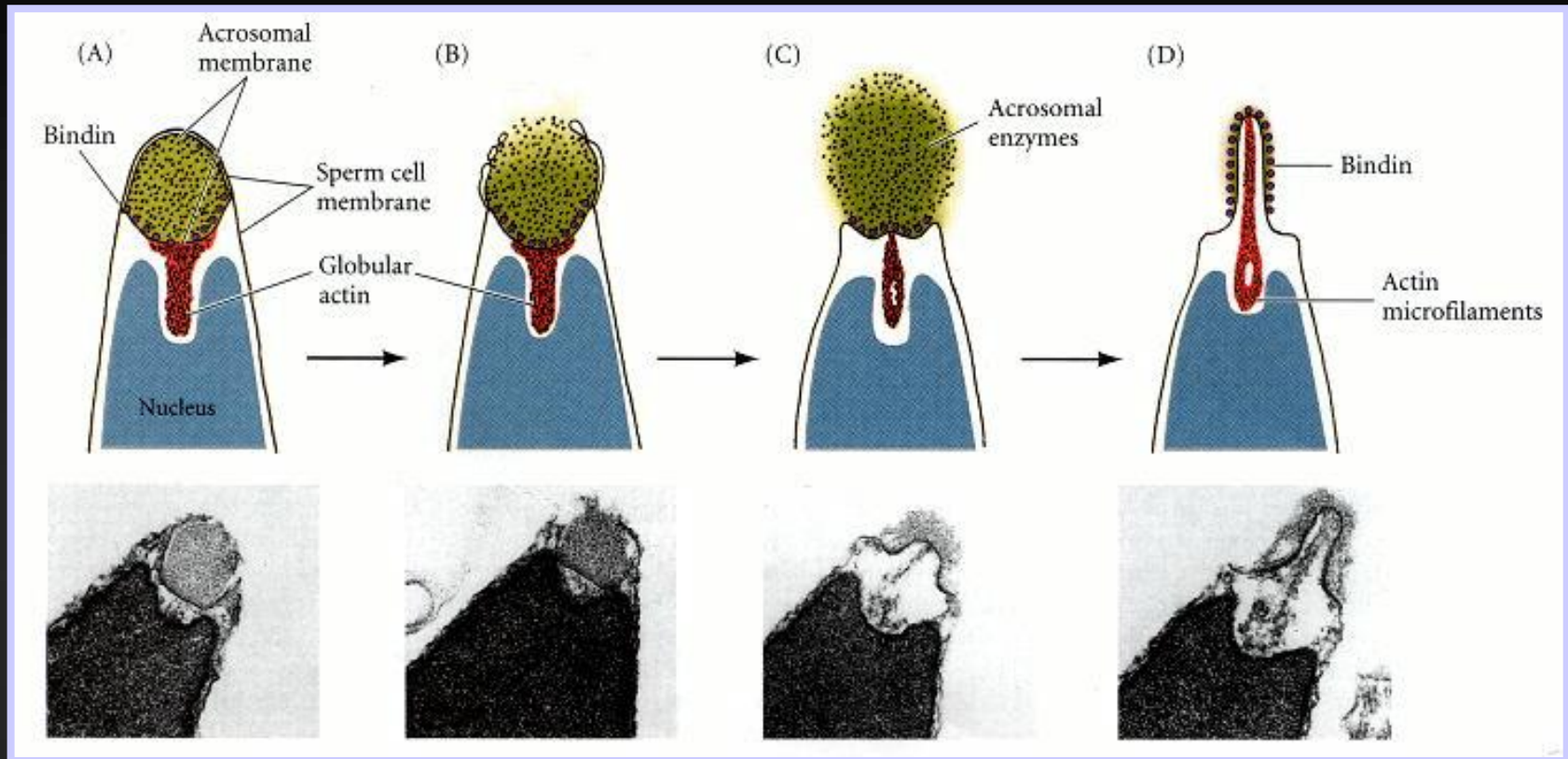
# Eventos que conducen a la unión de los gametos



Erizo de mar

Ratón (capacitación)

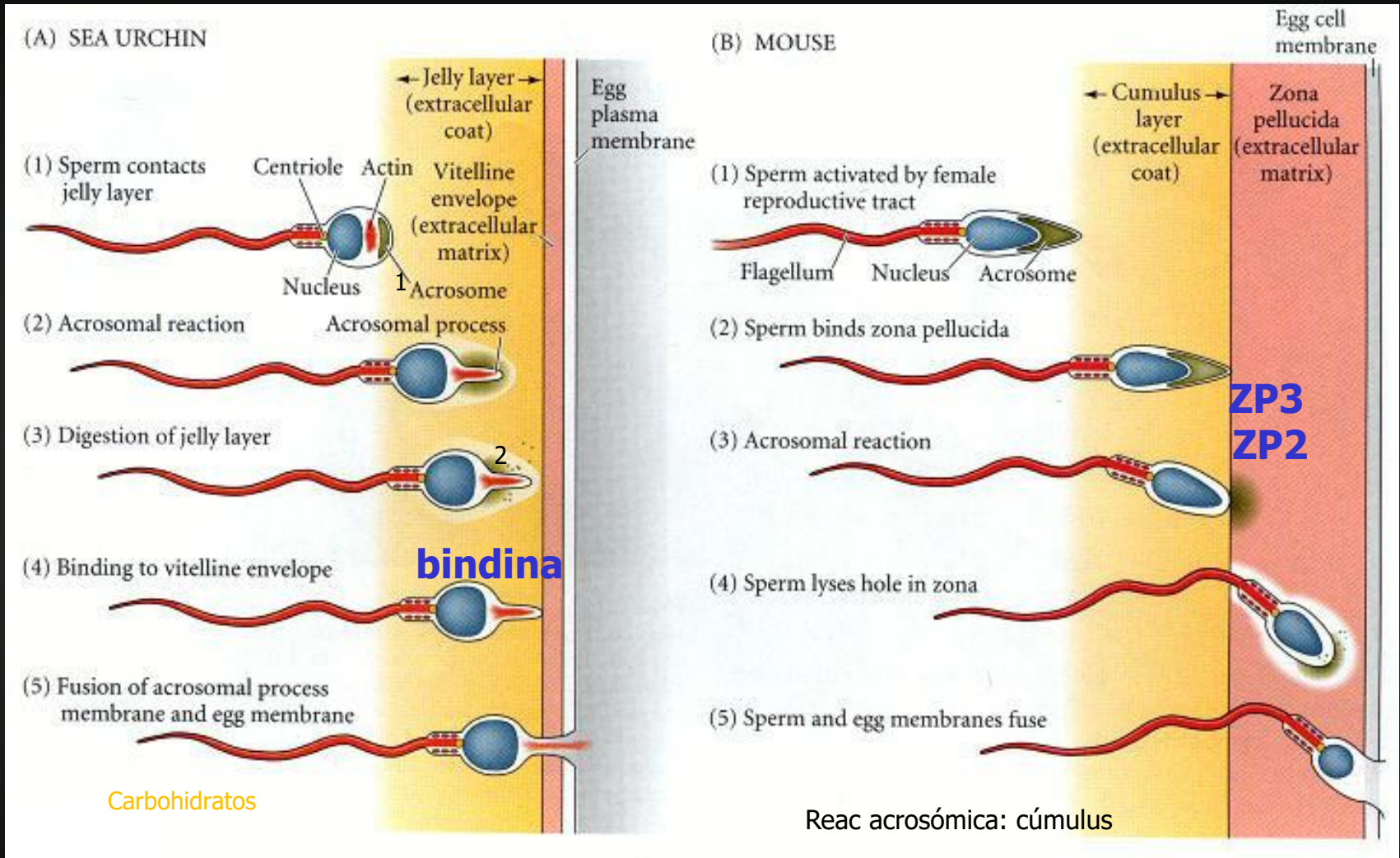
# Reacción acrosómica (erizo de mar)



- Interacción R membrana spz – polisacáridos del cubierta gelatinosa altamente especie-específicos
- Unión a receptor spz activa:
  1. canales de calcio de membrana plasmática (entrada desde exterior)
  2. fosfolipasa C – IP3 – liberación  $\text{Ca}^{2+}$  (acrosoma): exocitosis
- Extensión del proceso acrosómico: polimerización de actina



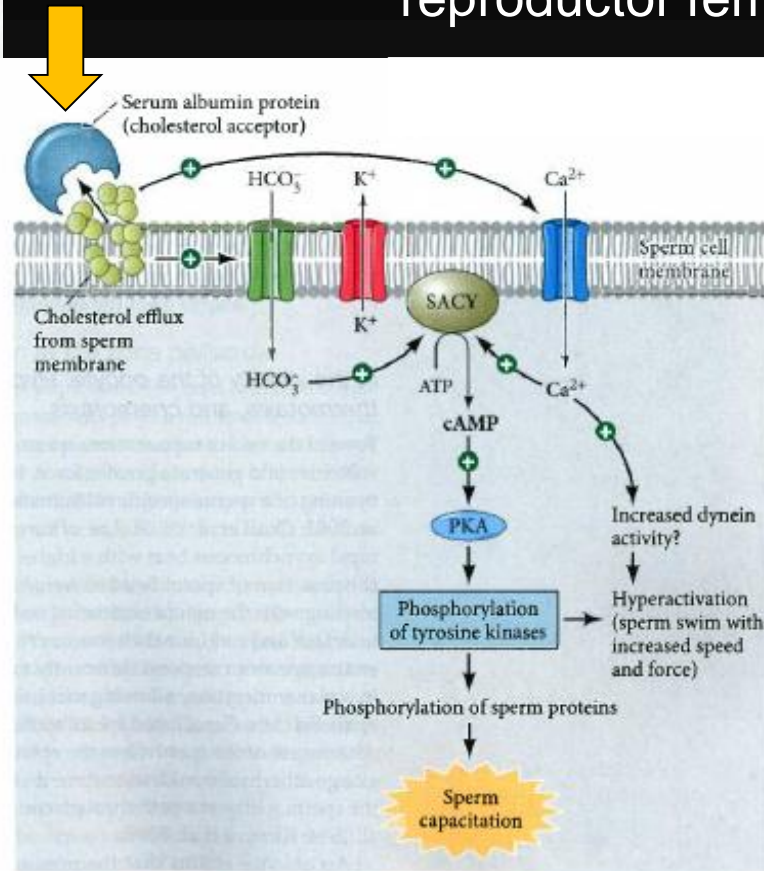
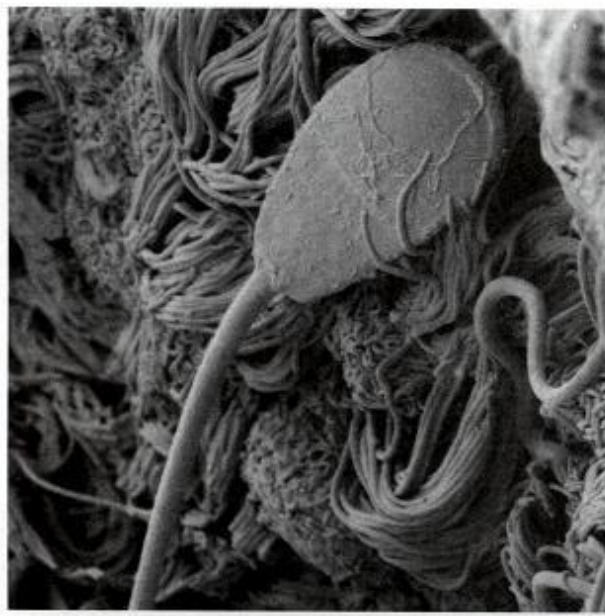
# Eventos que conducen a la unión de los gametos



**Erizo de mar**

**Ratón (capacitación)**

# Espermatozoide mamífero en el tracto reproductor femenino



**FIGURE 7.26** Hypothetical model for mammalian sperm capacitation. The pathway is modulated by the removal of cholesterol from the sperm cell membrane, which allows the influx of bicarbonate ions ( $\text{HCO}_3^-$ ) and calcium ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ). These ions activate adenylate kinase (SACY), thereby elevating cAMP concentrations. The high cAMP levels then activate protein kinase A (PKA). Active PKA phosphorylates several tyrosine kinases, which in turn phosphorylate several sperm proteins, leading to capacitation. Increased intracellular  $\text{Ca}^{2+}$  also activates the phosphorylation of these proteins, as well as contributing to the hyperactivation of the sperm. (After Visconti et al. 2011.)

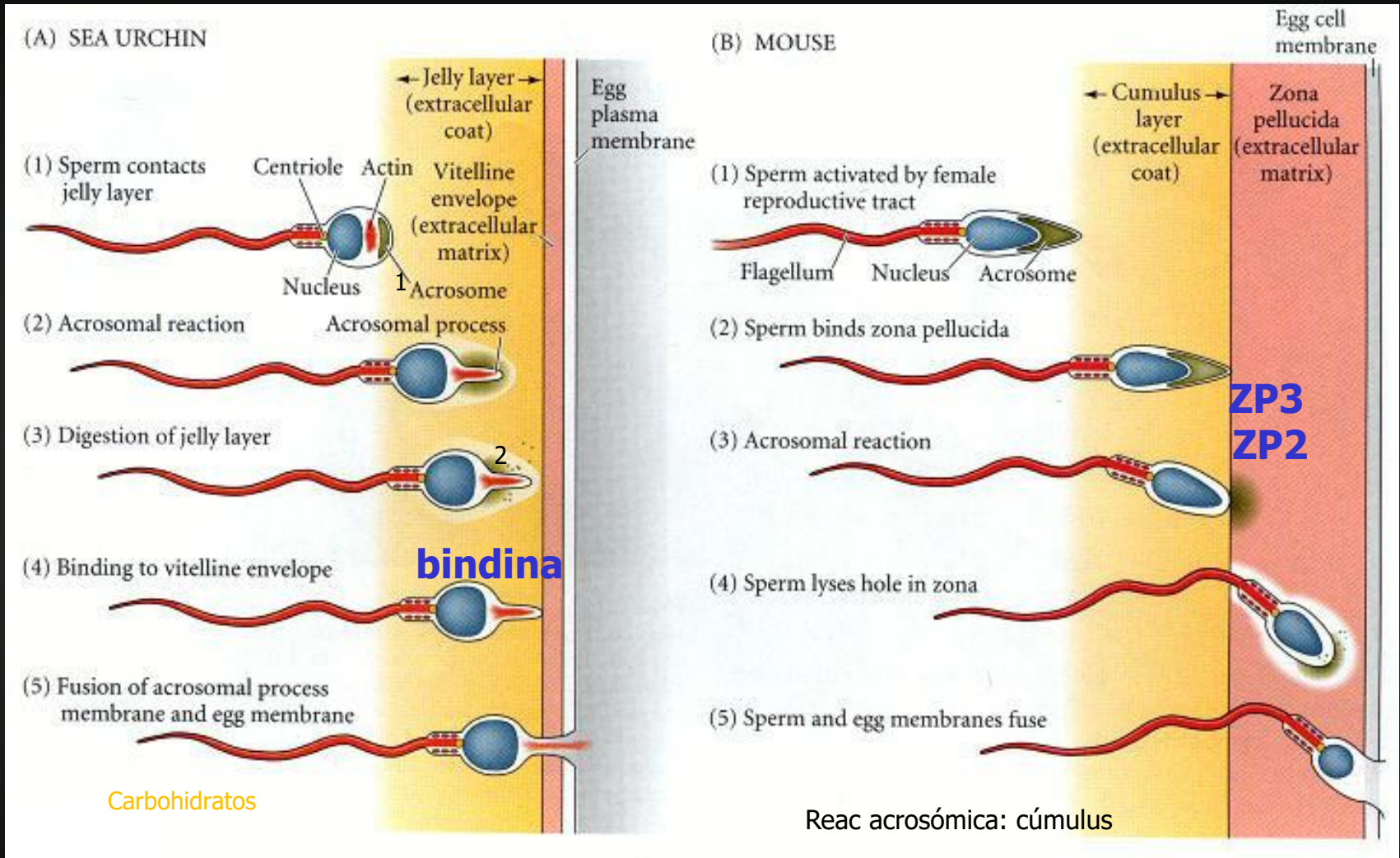
Gilbert, 2016

## Capacitación

- remoción de colesterol (relocalización de balsas lipídicas: región anterior)
- reorganización y pérdida de proteínas
- hiperpolarización (pérdida de  $\text{K}^+$  permitiría apertura de canales de calcio)
- fosforilación de proteínas
- membrana acrosoma en contacto con mp



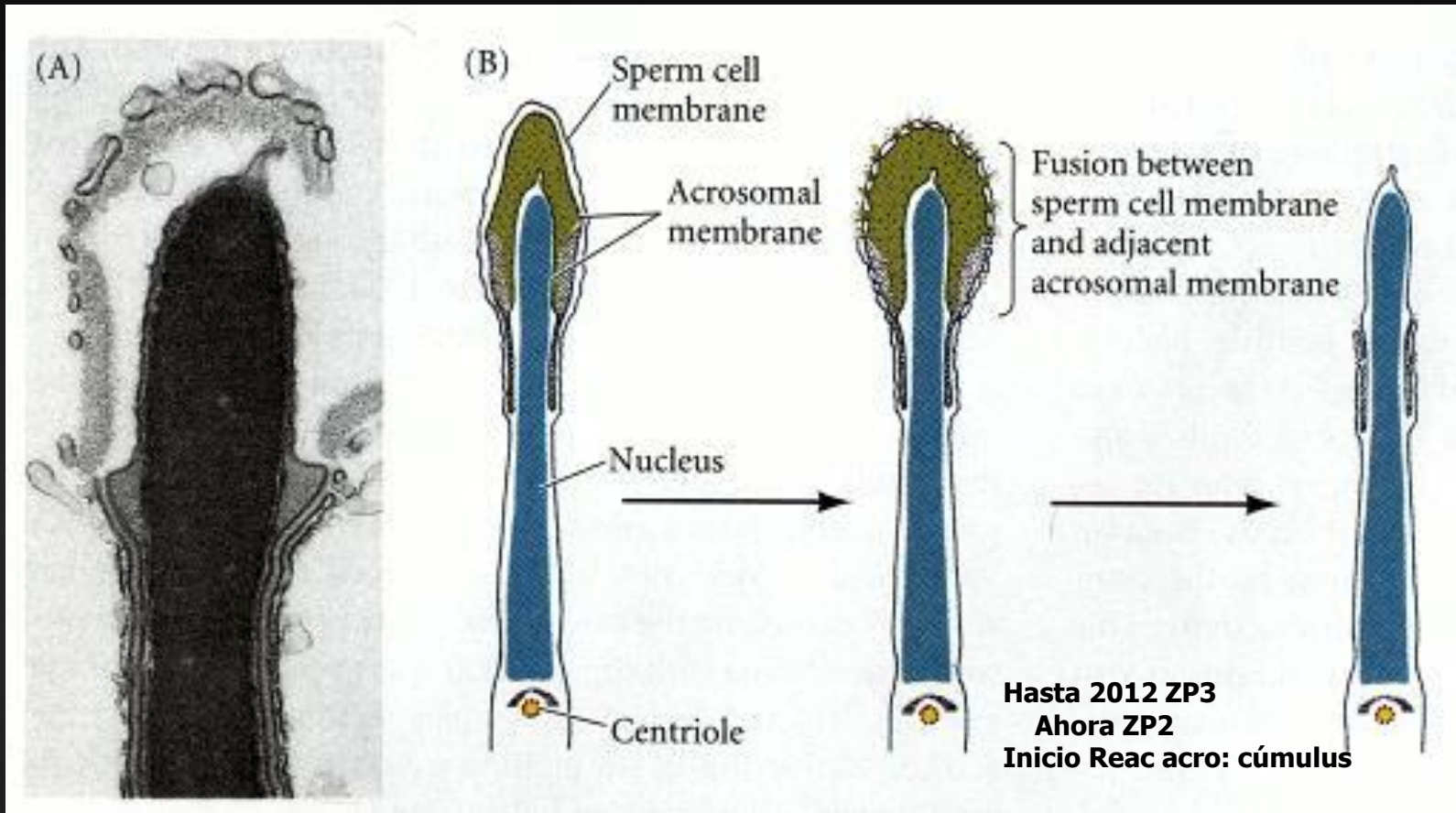
# Eventos que conducen a la unión de los gametos



**Erizo de mar**

**Ratón (capacitación)**

# Mamíferos



- Receptores para ZP3/ZP2 en spz – unión con ZP3/ZP2 de zona pelúcida:
  - activación de proteína G en spz: fosfolipasa C / PIP2 – IP3/DAG –
  - apertura de canales de calcio (acrosoma): exocitosis de vesícula acrosómica



# ¿En qué sitio del ovocito ingresa el espermatozoide?



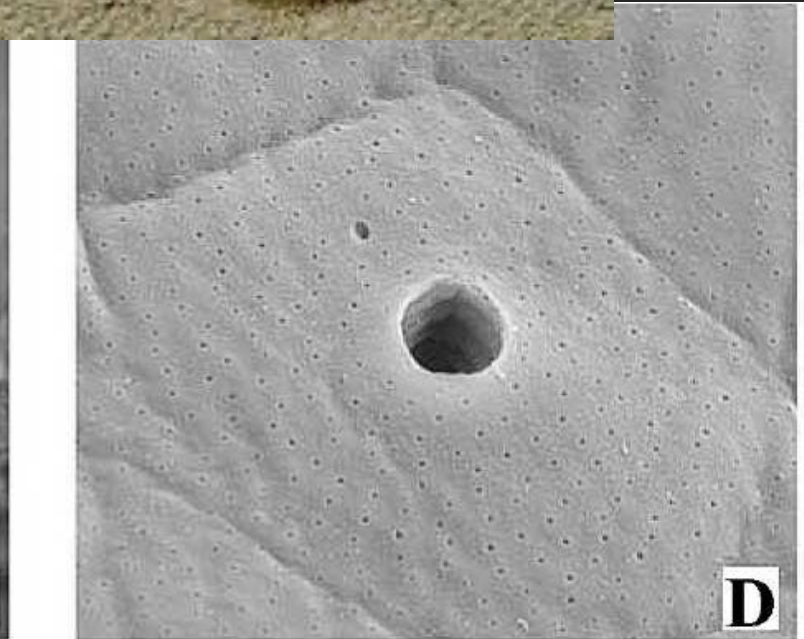
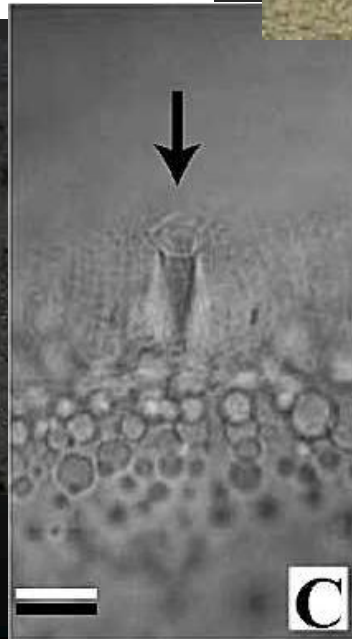
Anfibios:  
generalmente por el polo animal

Mayoría de invertebrados y mamíferos  
ingresan por cualquier lugar

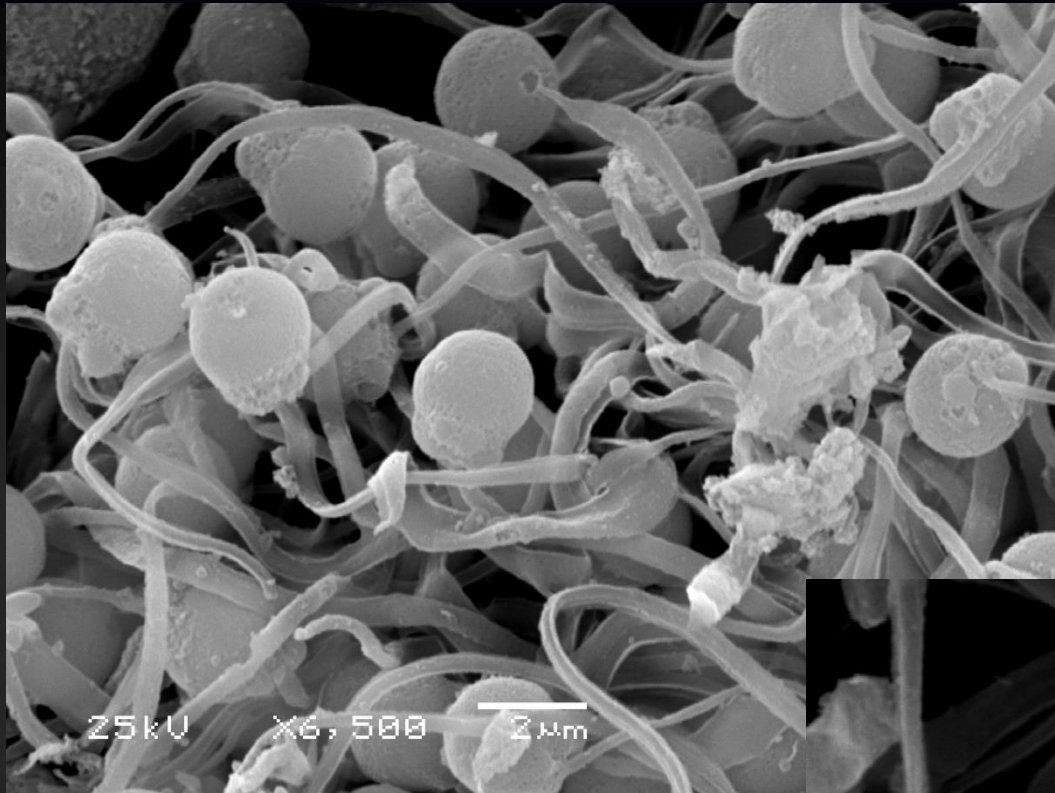


Insectos  
Cefalópodos  
Peces teleósteos.....

**micropilo**

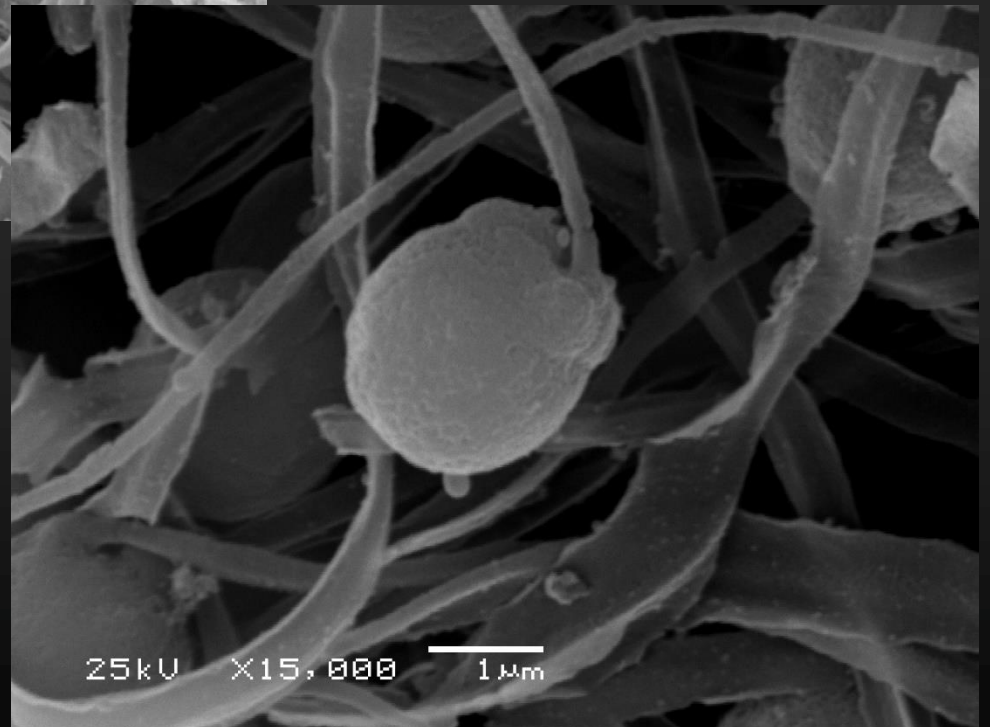






Espermatozoides sin  
acrosoma:  
peces teleósteos

*Austrolebias viarius*



## 2. Regulación de la entrada de los espermatozoides al ovocito

**Fusión de gametos** (proceso activo: proteínas fusogénicas)

- erizo de mar: bindina
- mamíferos: CD9 ovocitaria  
izumo espermática  
otras

Importancia...



# Prevención de la poliespermia:



## **bloqueo primario**

despolarización transitoria +20 mV en 1 a 3 segundos: influjo de iones sodio

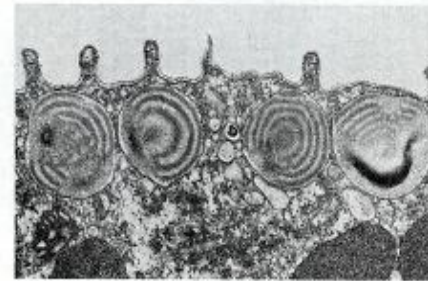
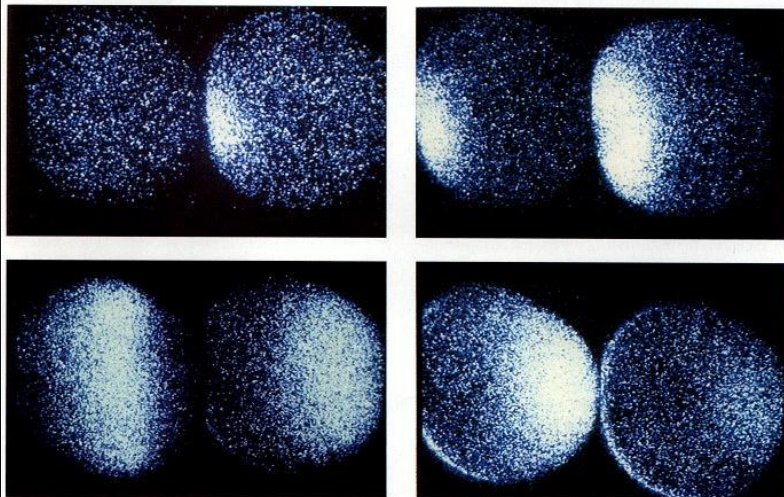
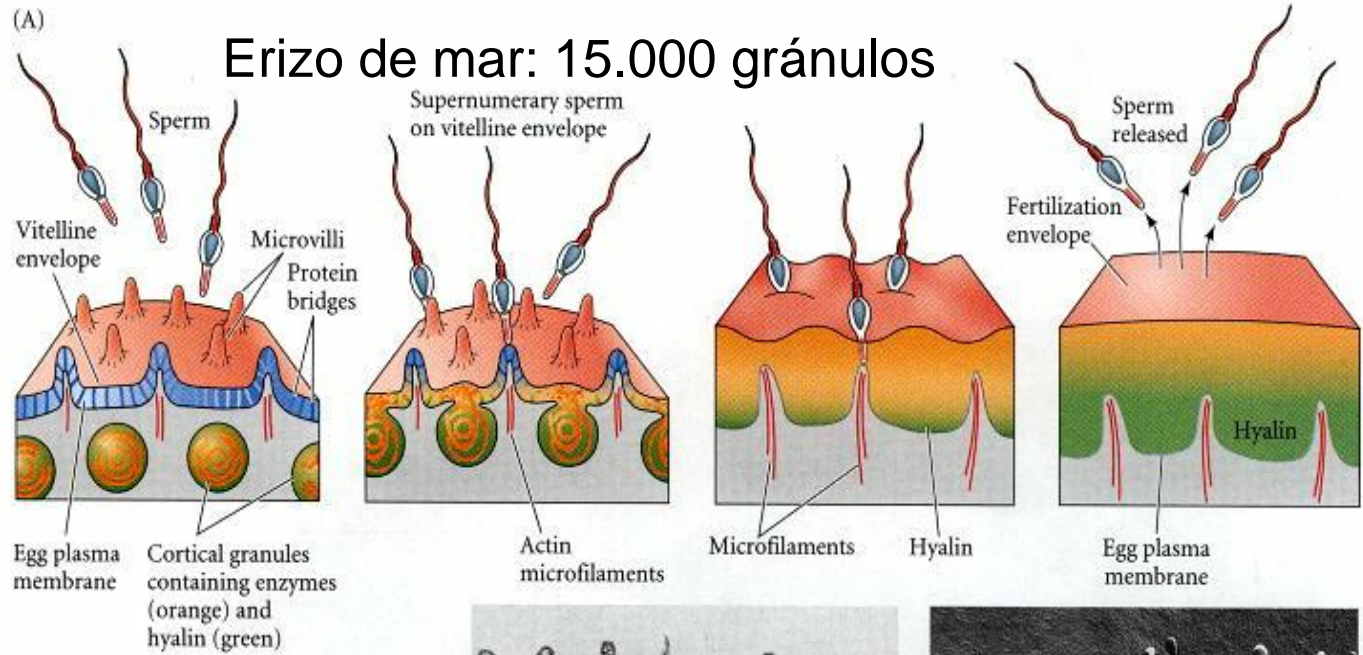
## **bloqueo secundario**

mecánico: en el minuto post-fecundación

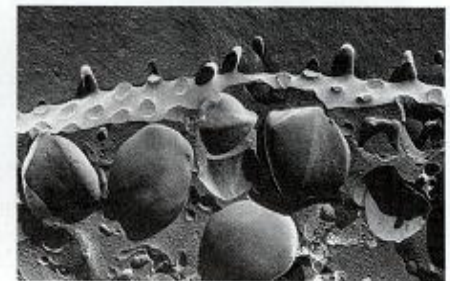
# Exocitosis de gránulos corticales: incremento de calcio i unión espermatozoide – membrana ovocitaria

Proteasas  
Mucopolisacáridos  
peroxidasa

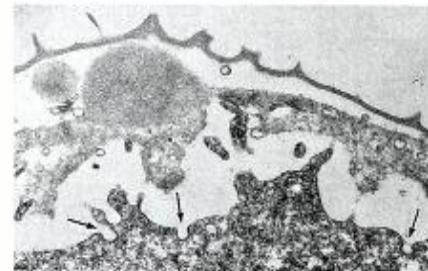
Onda de liberación de calcio  
30 segundos



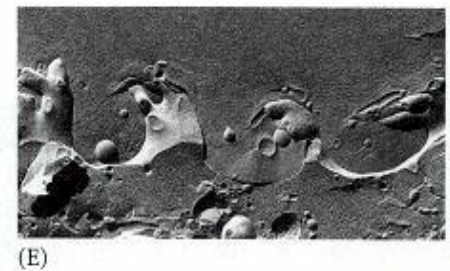
(B)



(C)

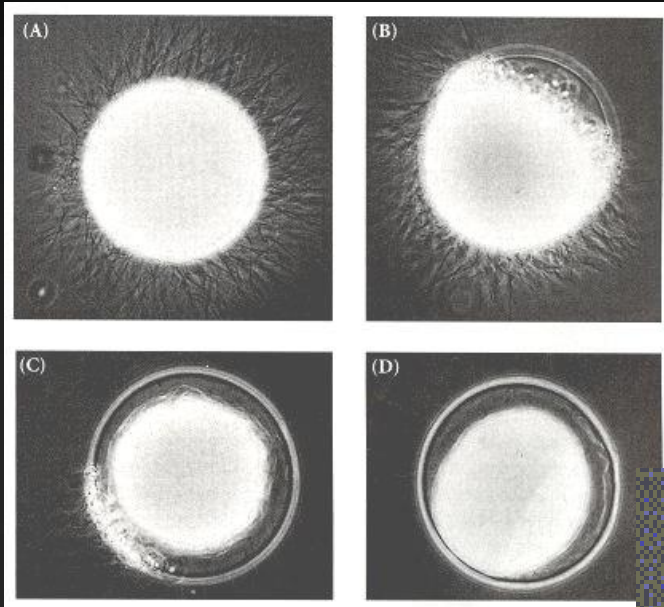


(D)



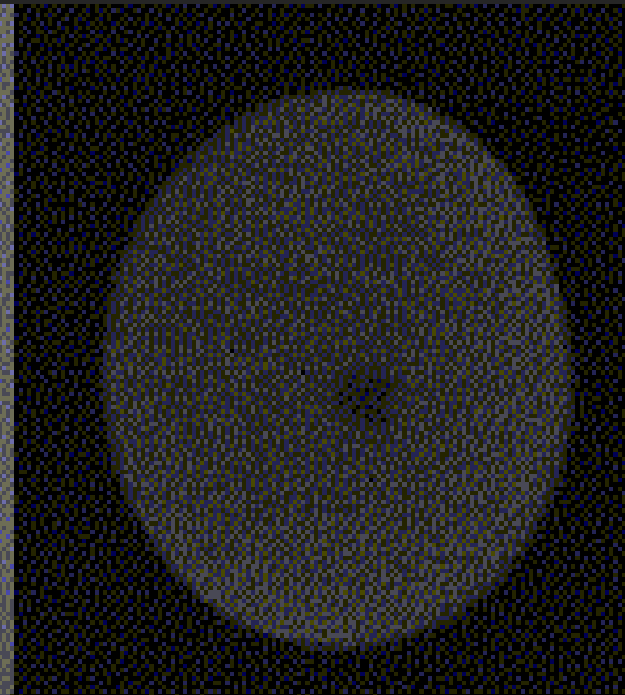
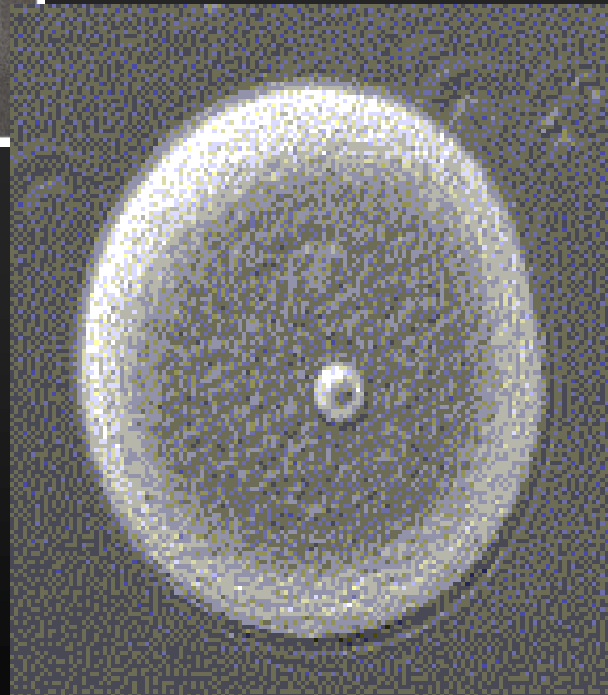
(E)

# Formación de la envoltura de fecundación en erizo de mar



Gilbert, 2013

Duración total: 1 minuto



# Mamíferos

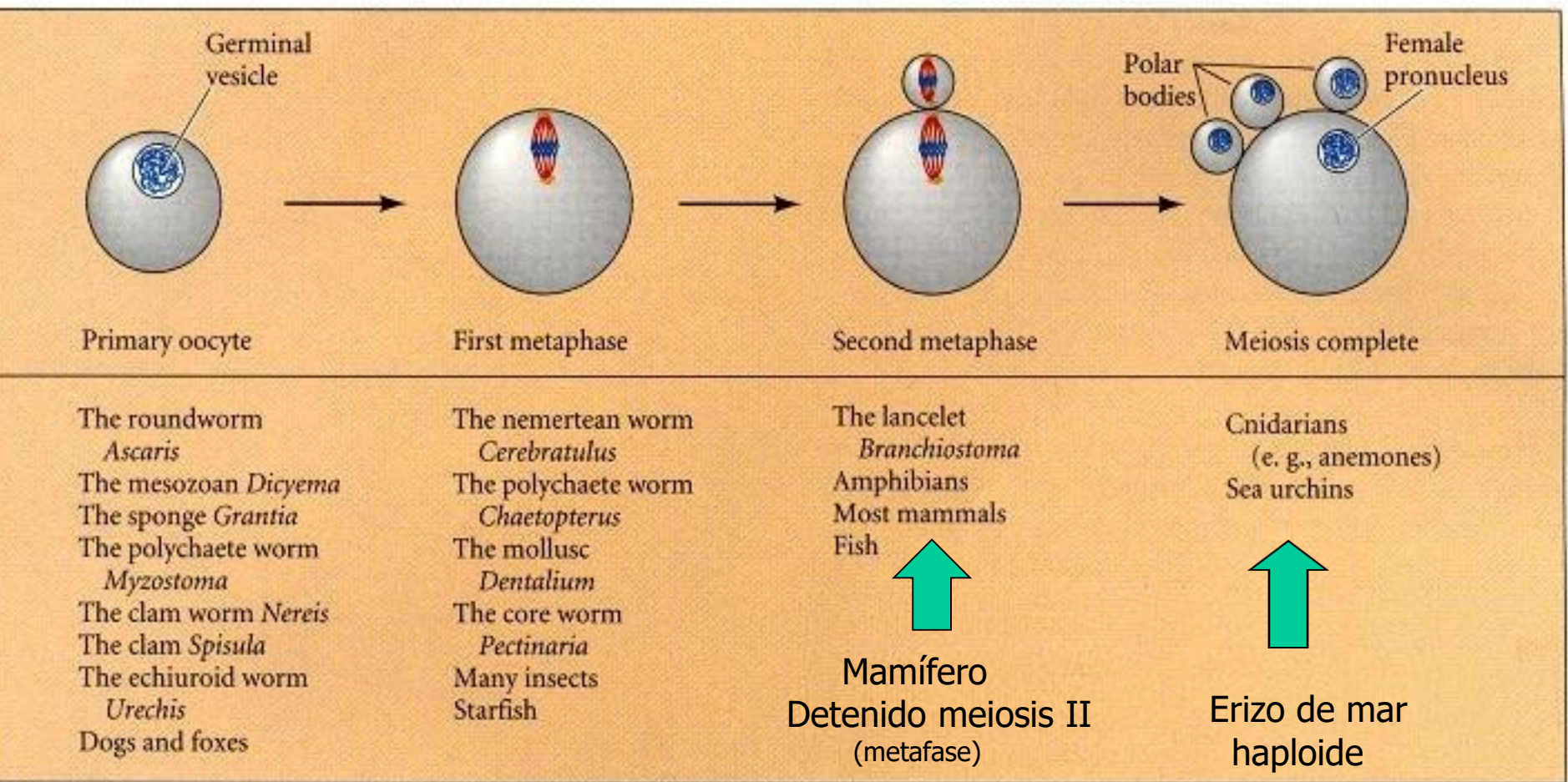


Fertilized oocyte (egg)



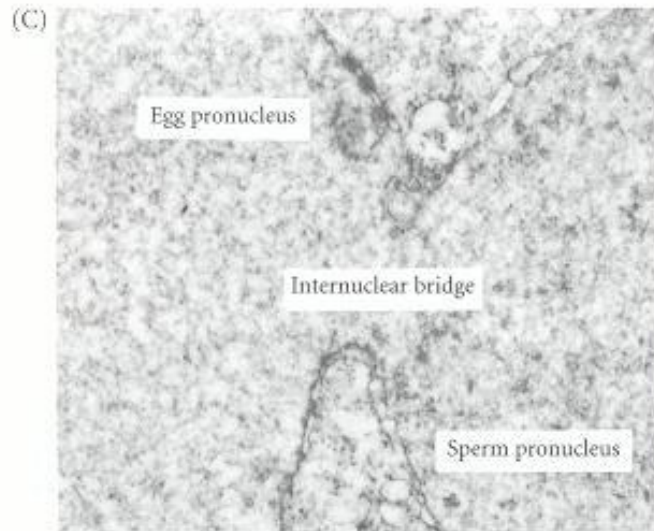
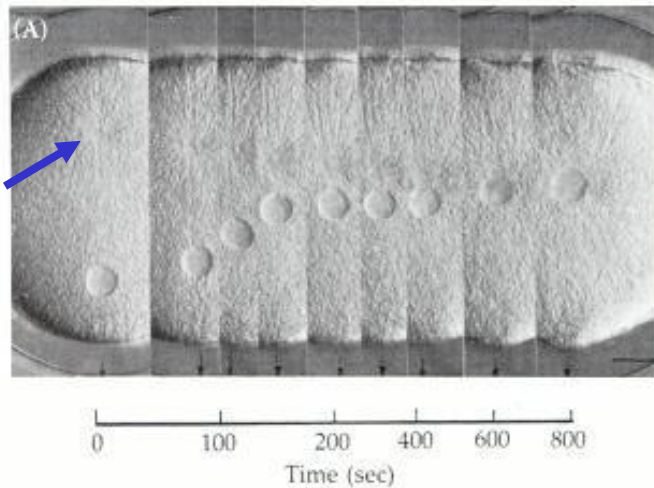
# 3. Fusión del material genético

Estadio de maduración ovocitaria en el momento de la fecundación en diferentes especies animales



# Eventos nucleares durante la fecundación (erizo de mar)

Pronúcleo  
masculino



- haploides
- descondensación
- microtúbulos: migración
- fusión: núcleo cigoto



# Pronúcleos

(mayoría de los mamíferos)

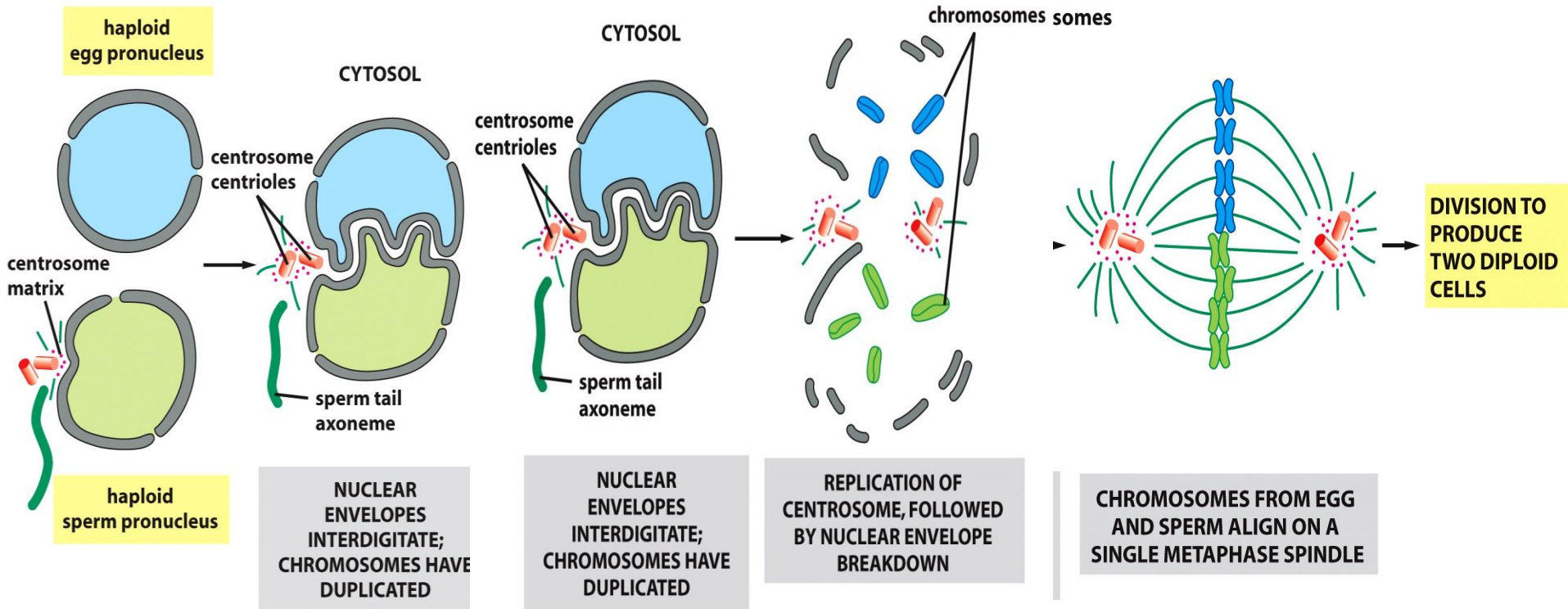


Figure 21-35 part 1 of 3 Molecular Biology of the Cell 5/e (© Garland Science 2008)

Figure 21-35 part 2 of 3 Molecular Biology of the Cell 5/e (© Garland Science 2008)

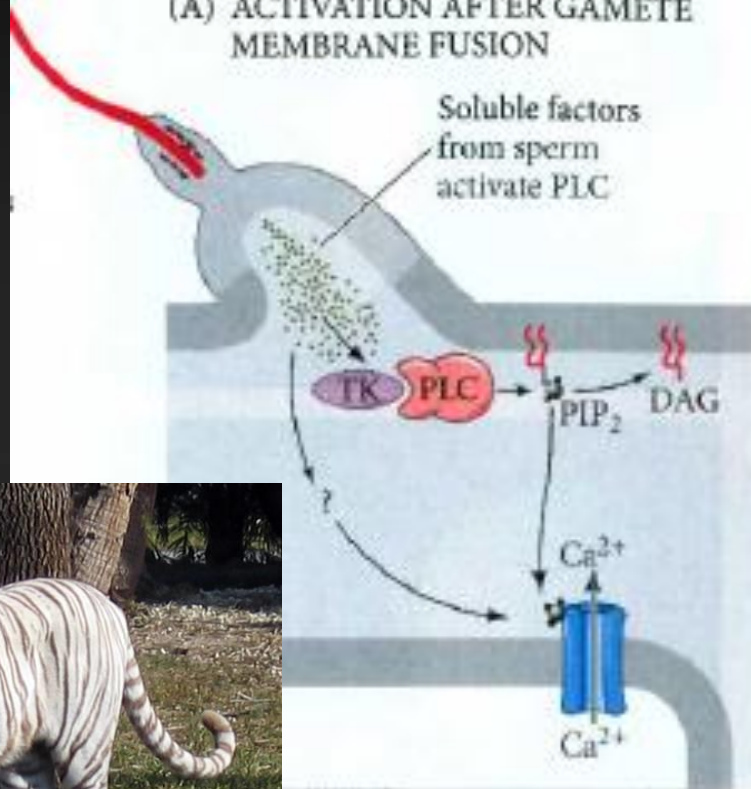
Garland Science 2008)

- finalización de la meiosis II
- descondensación
- migración (12 horas aprox.)
- el material genético permanece aislado (primera división)

# 4. Activación del metabolismo ovocitario

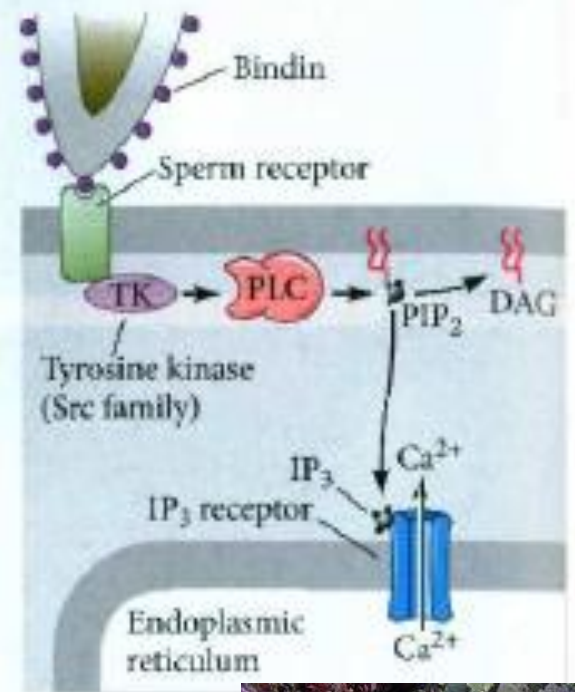
Jacques Loeb, 1899-1902

(A) ACTIVATION AFTER GAMETE MEMBRANE FUSION

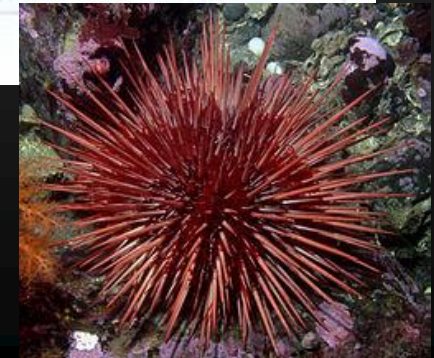


Frank Lillie, 1913

(B) ACTIVATION PRIOR TO GAMETE FUSION

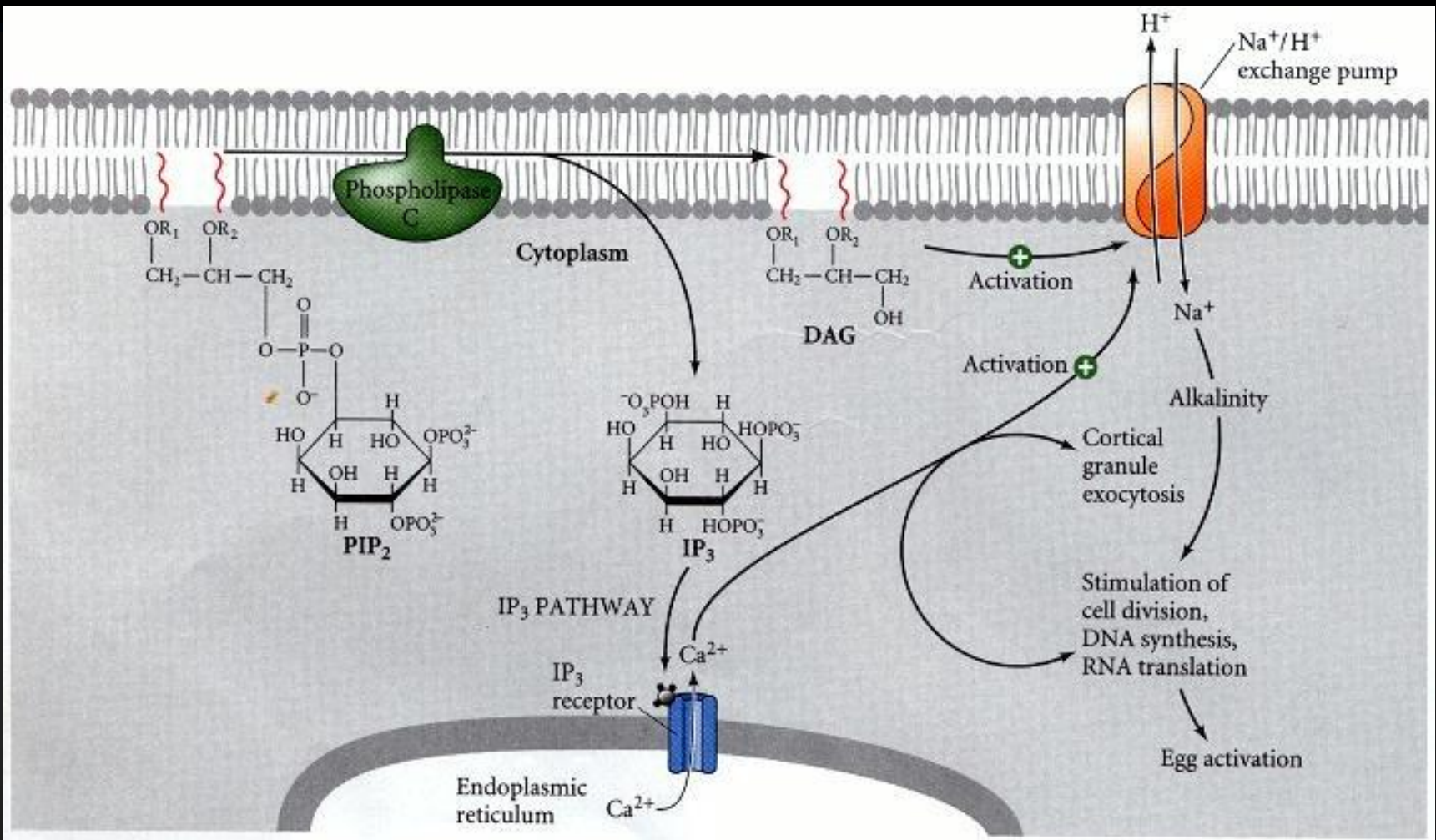


Gilbert, 2016



Posibles mecanismos de activación

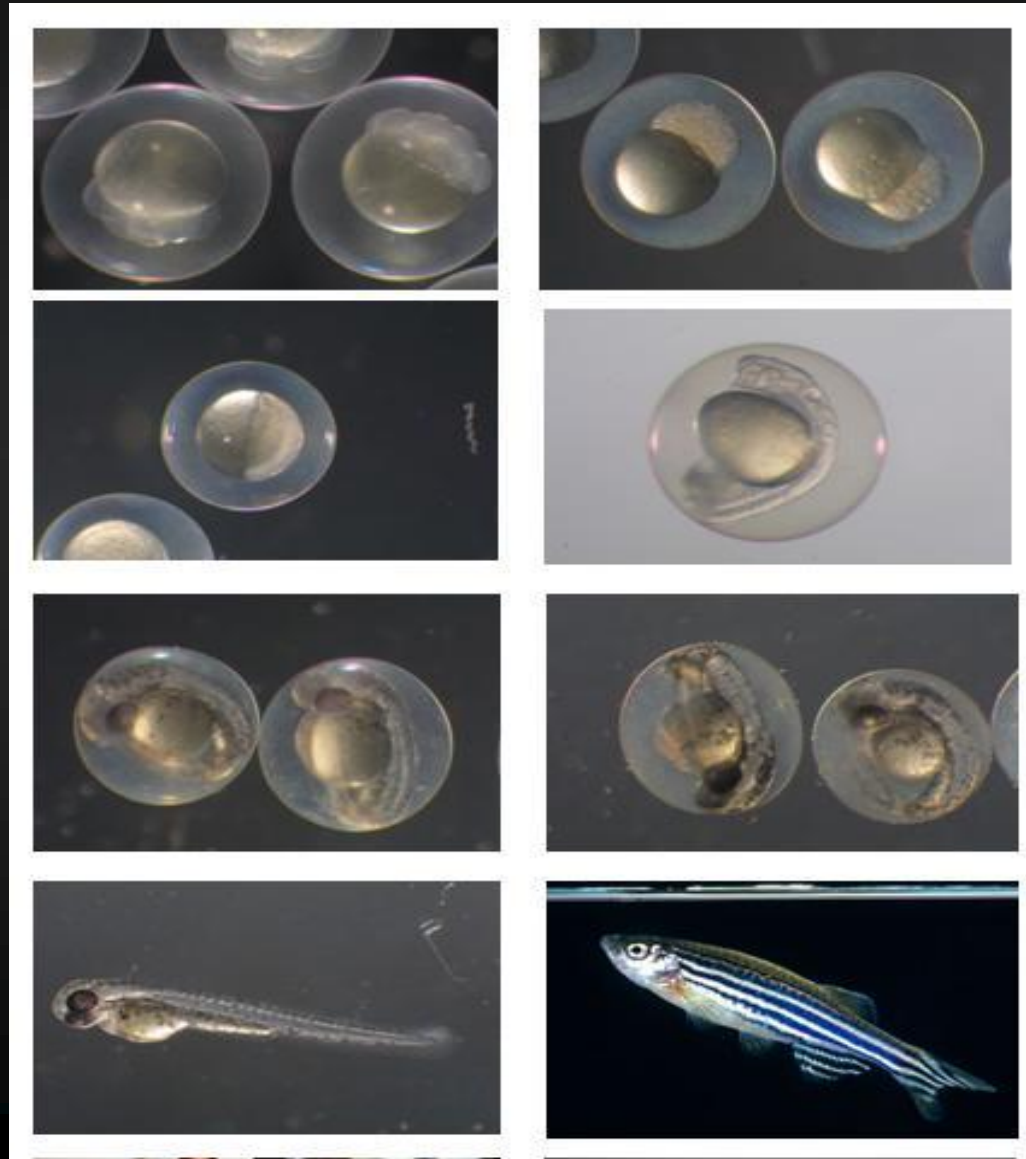




- pronúcleos fusionados
- ADN replicándose
- nuevas proteínas traduciéndose (ARNm maternos)
- movimientos citoplásmicos



# Desarrollo de nuevo organismo



## Preguntas de examen

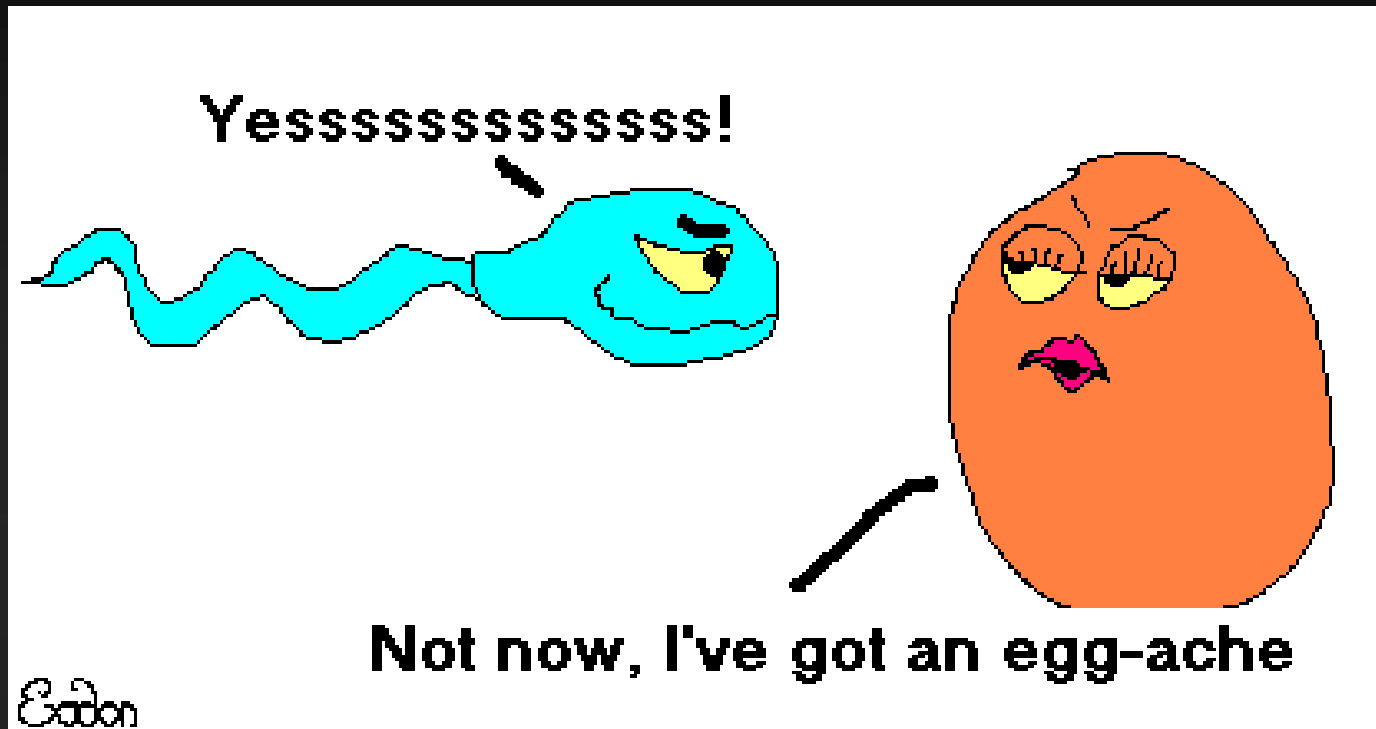
Los gametos generados por espermatogénesis y ovogénesis están optimizados en sentidos opuestos.

- a) Explique en qué consisten estas diferencias.
- b) ¿Qué aproximación experimental utilizaría para evidenciar alguna de ellas? Fundamente su respuesta.

Durante la fecundación, la mayoría de las especies poseen mecanismos que impiden la entrada de más de un espermatozoide al ovocito.

- a) Describa brevemente en qué consisten y analice la importancia de éstos para esas especies.
- b) Elija uno de los mecanismos: ¿cómo demostraría su importancia experimentalmente?





Muchas gracias por su atención