

# **L'origen dels animals, una història de bricolatge evolutiu**

Premi: Premi de Comunicació Científica Joan Lluís Vives (tretzena edició)

Modalitat: B. ciències bàsiques, ciències de la salut, enginyeries i architectures.

Autor: Arnau Sebé Pedrós

## Orígens

La qüestió dels orígens, d'on venen les coses, dels seus principis causals, ha estat una fascinació ancestral de l'ésser humà. La biologia és potser la disciplina científica enfrontada a més qüestions sobre orígens; així, ens preguntem com s'originà la vida, la cèl·lula eucariota (aquella que té nucli i orgànuls) o la ment humana. Talment una constel·lació de "coms" que donen peu a tot tipus d'especulacions teòriques. Hi ha, però, un denominador comú a totes aquests interrogants i és la manera en com els abordem: com bé va dir un dels pares de la genètica moderna, Theodosius Dobzhansky, "res té sentit en biologia si no és examinat des del punt de vista de l'evolució".

En aquest context, el genetista John Maynard-Smith va publicar un dels llibres més influents de la biologia evolutiva de la segona meitat del segle XX, anomenat "Les principals transicions evolutives". Allà planteja les principals qüestions sobre orígens en biologia, destacant com un dels fets cabdals l'origen de la multicel·lularitat.

## L'origen de la multicel·lularitat

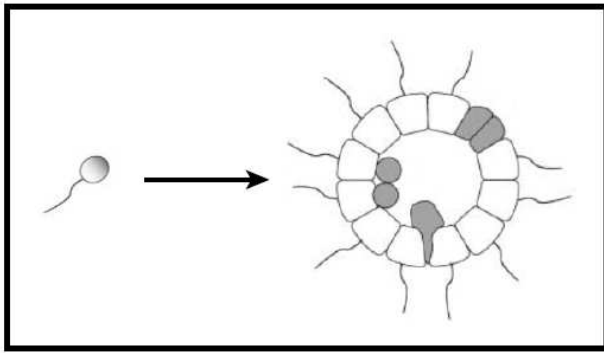


Figura 1. La transició a la multicel·lularitat. Organismes formats per una sola cèl·lula evolucionen donant lloc a organismes multicel·lulars, en els quals diferents cèl·lules (en gris) poden especialitzar-se en diferents funcions.

L'origen de la multicel·lularitat planteja el repte d'explicar com un grup de cèl·lules pot esdevenir un organisme integrat, com ara una planta o un animal, a partir d'uns ancestres que eren estrictament unicel·lulars (el que avui en dia anomenem protists o eucariotes unicel·lulars). Doncs bé, la qüestió és encara més complexa si tenim en compte que aquesta transició, des d'uns protists unicel·lulars a organismes multicel·lulars, s'ha produït no una, si no moltes vegades independentment al llarg de la història de la vida. La llista és molt llarga: fongs, animals, plantes, amebes socials, algues brunes, algues vermelles,...

I els resultats són també ben dispars i van des d'organismes molt senzills amb uns pocs tipus de cèl·lules diferents i a penes visibles a ull nu (com ara algunes algues verdes o bé les amebes socials) fins a organismes amb molts tipus cel·lulars i de mida macroscòpica (com ara les plantes o els animals).

Múltiples orígens impliquen una sèrie de particularitats en referència a com es va donar en cada cas la transició. Però per damunt d'això, hi ha una sèrie de trets comuns a tota multicel·lularitat. Per exemple, quins són els avantatges de ser multicel·lular?

En primer lloc, permet la divisió del treball entre diferents cèl·lules, que s'especialitzen en el que anomenem tipus cel·lulars, que fan funcions concretes; això suposa un gran avantatge ja que permet dur a terme funcions més complexes o bé simultaniejar en el temps feines que abans eren incompatibles (Figura 1). En segon lloc, et permet incrementar la mida, la qual cosa proporciona immunitat contra depredadors (s'anomena el principi de "massa gran per a ser menjat!") i permet ocupar nínxols ecològics inexplorats.

D'altra banda ens podem preguntar, quines són les eines necessàries per a la multicel·lularitat?

Bàsicament es necessiten mecanismes d'adhesió, de comunicació, de diferenciació i control de la proliferació. L'adhesió permetrà mantenir les cèl·lules unides entre sí i la comunicació les coordinarà en tot moment. La diferenciació és el procés pel qual les cèl·lules es repartiran les funcions, decidint què ha de fer cadascuna. Finalment, el control de la proliferació és essencial per evitar que apareguin "tramposos" en el grup, cèl·lules que creixin a expenses de les altres; un fenomen que ens és ben familiar, el càncer, deriva en gran part de la fallida d'aquestes mecanismes de control.

Parlem de funcions en abstracte però, físicament, les funcions les realitzen gens que, un cop traduïts a proteïna, duran a terme la funció en qüestió. I són precisament aquests gens els que fan diferents cada grup d'organismes multicel·lulars: les necessitats són les mateixes, però cada grup (animals, fongs, plantes,...) ha trobat solucions diferents per resoldre-les.

### **El animals i els gens de la multicel·lularitat**

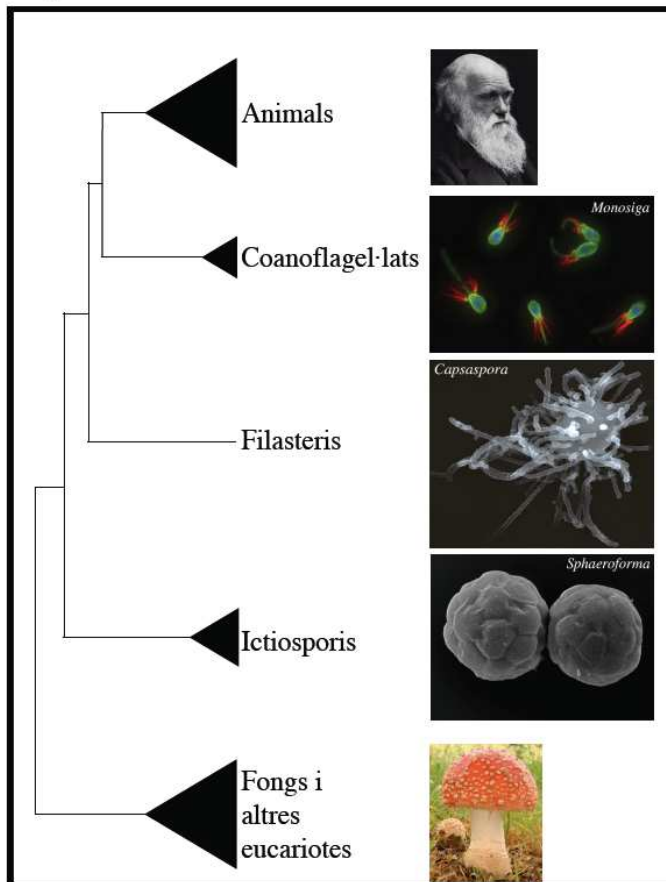
Els animals són un grup molt divers i antic, on trobem formes de vida increïblement variades. Des de les simples esponges, que consten de pocs tipus cel·lulars, fins a nosaltres els humans, amb òrgans tan complexos com el cervell, hi ha tot un ventall d'organismes radicalment diferents, com són els mol·luscs, els insectes, els coralls o els equinoderms. Però tots compartim un tret característic: la multicel·lularitat. I encara més, a diferència d'altres grups d'eucariotes, aquesta multicel·lularitat s'obté per un altre tret singular: el desenvolupament embrionari. Aquest és el procés pel qual a partir d'una sola cèl·lula, anomenada el zigot, s'obté l'adult, mitjançant moltes divisions cel·lulars i complexos processos d'organització dels teixits i òrgans. Tot i que les formes resultants del desenvolupament són molt diferents, tant com pot ser-ho un nadó humà d'una medusa, els gens necessaris per dur a terme aquest procés són comuns a tots els animals.

I com sabem que compartim aquests gens amb espècies tan llunyanes com la mosca del vinagre? Doncs gràcies a la seqüenciació dels genomes, un dels avenços científics més importants d'aquest nou segle entrant.

El genoma és el catàleg de gens, el "manual d'instruccions", de cada espècie, i està únicament conformat per una cadena de nucleòtids, els famosos A, T, C i G. Cada gen és una seqüència dintre d'aquest conjunt, un codi únic d'aquestes lletres. Per tant, si trobem un gen a una espècie, podem mirar de trobar una seqüència similar en el genoma d'altres espècies. Aquest és un dels objectius de la disciplina anomenada Genòmica Comparada, entendre quins gens fan especials a cada espècie i quins són comuns a grups d'espècies. Els gens que són comuns a un grup i que no trobem a altres espècies haurien de ser els responsables d'explicar les característiques intrínseques d'aquest grup, les que les diferencien a la resta. Per tant, si comparem el genoma de molts animals i busquem què tenen en comú i què d'únic respecte altres espècies d'eucariotes trobarem els gens responsables de la multicel·lularitat animal.

Aquests gens són els que realitzen les funcions esmentades més amunt: adhesió, comunicació, diferenciació cel·lular i control de la proliferació. Els animals tenen la seva particular caixa d'eines per a la multicel·lularitat, diferent de la de plantes, fongs i altres eucariotes, que no presenten aquests gens. Així doncs fins aquí tot sembla clar: va ser l'aparició d'aquests gens els que va permetre l'origen dels animals... Però uns convidats inesperats han canviat dràsticament la nostra visió sobre aquesta qüestió. Aquests convidats són els nostres parents unicel·lulars, amb els que formem el grup conegut com els Holozous. I aquests ¿qui són?

## Els parents unicel·lulars dels animals



**Figura 2.** Els Holozous. Representació esquemàtica de les relacions de parentesc entre els animals i els eucariotes unicel·lulars més propers a ells. S'inclouen fotografies d'alguns representants de cada grup.

El grup més divers i també el més conegut de parents unicel·lulars dels animals són els coanoflagel·lats (Figura 2). Són protists de vida lliure, que habiten tant els oceans com les aigües dolces. S'alimenten de bacteris mitjançant una cistella, la coana, que envolta el flagel. Més allunyats a l'arbre, els nostres cosins segons, serien Filasteris (Figura 2). Aquest nom tan estrany engloba a dues espècies d'amebes filamentoses, *Ministeria vibrans* i *Capsaspora owczarzaki*. Mentre que *Ministeria* és marina i s'alimenta de bacteris, *Capsaspora* va ser trobada vivint com a simbiot dins d'un cargol.

I finalment trobem els ictiosporis (Figura 2). Aquest són majoritàriament paràsits o tenen alguna fase del seu cicle vital associada a animals. En general tenen una forma de reproducció colonial, un individu creix i es divideix fins que al final allibera les espores dispersives, que poden ser ameboides o flagel·lades.

Tot aquest "zoològic" de protists ha arribat fa molt poc als laboratoris, i encara desconeixem molt de la seva biologia més bàsica, però els seus genomes han estat desxifrats recentment, i això és una poderosa eina al nostre abast.

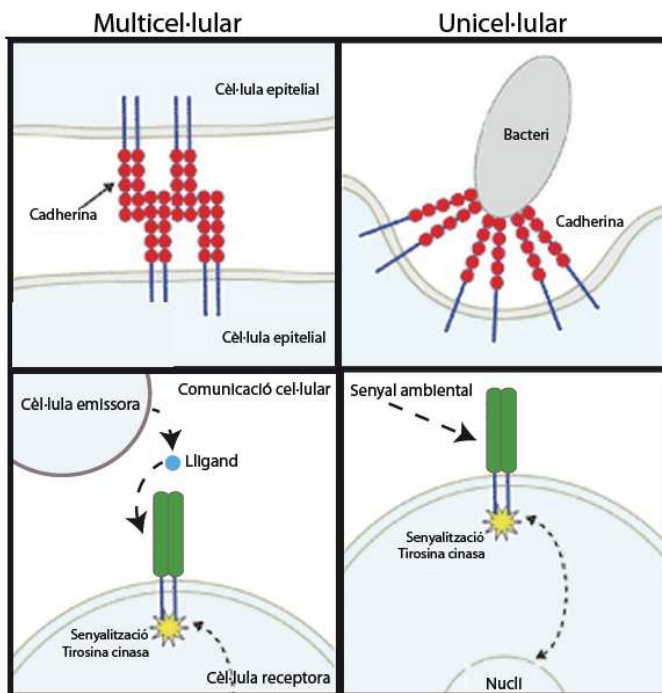
### Gens de multicel·lularitat als nostres parents unicel·lulars

En analitzar les dades genòmiques d'aquests parents unicel·lulars, vam constatar, amb gran sorpresa, que molts d'aquells gens que s'havien definit com únics dels animals i es creien indissociables de la seva multicel·lularitat estan presents als genomes d'aquestes espècies. Veiem-ne alguns casos.

El primer exemple el van oferir els gens implicats en l'adhesió cel·lular. Les cadherines són proteïnes que presenten una part cap a l'exterior de la cèl·lula i s'anclen a la membrana cel·lular. El seu funcionament és com el d'una cremallera: les cadherines d'una cèl·lula s'uneixen a les d'una altra, formant un entramat que les manté unides. Les cadherines han estat trobades al genoma dels coanoflagel·lats i un seguit d'experiments va revelar que, a diferència dels animals, els coanoflagel·lats utilitzen les cadherines per atrapar bacteris (Figura 3). Així doncs un sistema per atrapar preses en un context unicel·lular es va convertir en un sistema per unir cèl·lules entre si.

Les integrines són un altra família de gens importants en l'adhesió cel·lular dels animals, en concret s'encarreguen de la unió de les cèl·lules a la matriu extracel·lular, un ciment que omple l'espai entre les cèl·lules. Les integrines estan presents al genoma de *Capsaspora* i dels ictiosporis, tot i que aquests no tenen pas matriu extracel·lular.

Veiem, doncs, com dos gens importantíssims per a l'adhesió ja es trobaven presents a l'ancestre unicel·lular dels animals.



**Figura 3.** Coopció. Dos exemples de la funció d'un gen en un context multicel·lular i unicel·lular. En el primer cas, el gen d'adhesió cadherina (en vermell) és usat per a unir les cèl·lules entre si en els animals i, en els protists, per a capturar bacteris. En el segon cas, una tirosina cinasa (en verd), en els animals, rep senyals emesos per altres cèl·lules, mentre que en els protists capta senyals provinents del medi.

La comunicació cel·lular també revela un cas interessant, com són les tirosina cinases. Aquests gens conformen un dels sistemes més importants de comunicació cel·lular en animals. La majoria són proteïnes transmembrana, és a dir, una part dona a l'exterior de la cèl·lula i l'altre a dins, al citoplasma. La part externa capta la senyal que transmet a la part interior, una cinasa que inicia una cadena de transducció de senyal que modificarà el comportament cel·lular. En general reconeixen lligands (petites molècules que viatgen pel medi extracel·lular i s'uneixen a la part exterior de la tirosina cinasa) segregades per altres cèl·lules del mateix organisme, com seria el cas de la insulina que capten els receptors d'insulina. Però els nostres cosins unicel·lulars tenen

un ampli ventall de tirosina cinases. També les fan servir com a sistema de senyalització, però no rebent senyals d'altres cèl·lules, sinó per entendre el seu medi i reaccionar davant de diferents condicions. Els animals van internalitzar aquest sistema, és a dir, van aprofitar aquests gens de captació de lligands ambientals externs per comunicar cèl·lules del mateix organisme (Figura 3).

Per últim, trobem un exemple de gens relacionats amb la diferenciació cel·lular. Aquests gens s'anomenen factors de transcripció, un tipus de proteïnes que s'uneixen a l'ADN i regulen l'expressió d'altres gens. Funcionen com interruptors que permeten encendre o apagar gens que seran els encarregats de definir el tipus concret que una cèl·lula esdevindrà, cosa que explica el fet que dues cèl·lules amb els mateix contingut genòmic (totes les cèl·lules d'un animal són idèntiques genèticament) tinguin formes i funcions tan diferents. També són els encarregats de controlar la proliferació de les cèl·lules, inhibint la divisió quan ja no en fan falta més o viceversa.

També els nostres cosins unicel·lulars tenen molts d'aquests factors de transcripció que semblaven únics i essencials per a la multicel·lularitat animal. Un exemple és el del gen *brachyury*, que és l'encarregat de definir el mesoderm, el grup de cèl·lules que donarà lloc a la musculatura i altres òrgans dels animals. Però *Capsaspora* també té *brachyury* i és un protist que no té mesoderm ni musculatura. Un altre cas és el del gen *myc*, que és un dels més importants pel que fa la regulació de la proliferació (està implicat a un 70% dels càncers humans) i que també trobem als nostres parents unicel·lulars. Quan ens preguntem què fan aquests gens en un context unicel·lular, la resposta hipotètica és que aquests gens podrien regular la transició entre les diferents fases del cicle vital dels protists, així com també podrien controlar la seva proliferació segons la situació. Un cop més, sembla que els animals van aprofitar aquests gens pre-existents per a desenvolupar la multicel·lularitat.

### **Conclusió**

“L'evolució biològica es fonamenta en un bricolatge molecular, on es reutilitza l'antic per fer allò nou.”

François Jacob, *Le jeu des possibles*, 1981.

Sovint en biologia trobem que les explicacions més simples no encaixen bé amb els tortuosos camins de l'evolució i aquesta nova perspectiva sobre l'origen dels animals així ens ho demostra. Sembla clar, doncs, que l'origen de la multicel·lularitat animal no va ser un procés tan dramàtic com es creia, ja que els nostres ancestres unicel·lulars ja disposaven de molts dels gens que més tard s'emprarien en un context multicel·lular.

Aquest procés de re-utilització de gens per tal de donar-los noves funcions s'anomena coopeió. Com ens indica la brillant metàfora de François Jacob, l'evolució fa bricolatge, treballa sobre el material que ja hi ha i l'adapta a les noves necessitats, a diferència del que faria un dissenyador intel·ligent. Els productes de l'evolució, les espècies vives d'avui, ens permeten rastrejar quan i com van produir-se aquests canvis. Rebuscant en els seus genomes trobem pistes de què va ocórrer al període Càmbric, quan van sorgir els primers animals.

Indubtablement l'aparició dels animals va canviar radicalment la vida sobre la faç de la terra, modificant els ecosistemes i permetent l'aparició del món que coneixem avui. Tanmateix no hem d'oblidar que moltes de les eines que permeten la multicel·lularitat van aparèixer fa més de 600 milions d'anys, quan els nostres ancestres unicel·lulars maldaven per adaptar-se al medi.