

# “El desenvolupament és controlat per molt pocs gens”



## Rudolf i Elizabeth Raff

Biòlegs

**R**udolf i Elizabeth Raff treballen en una disciplina que el primer ha batejat com a biologia evolutiva del desenvolupament. Pretenen esbrinar com s'ho fan les espècies per canviar la seva forma i quins són els mecanismes que els permeten fer-ho: quins gens regulen l'evolució del desenvolupament. Per a això, el matrimoni Raff ha utilitzat dues espècies d'ericons de mar del mateix gènere, l'*Heliocidaris erythrogramma* i l'*Heliocidaris tuberculata*, amb un avantpassat comú de fa només 4 milions d'anys, però moltes diferències

en la forma i, també, en la manera de desenvolupar-se: el primer té desenvolupament directe (l'organisme manté característiques idèntiques al llarg del seu creixement), i el segon, indirecte (passa per la fase de larva i, com les papallones, és a dir, pateix metamorfosis).

Per estudiar els canvis evolutius que han afectat les dues espècies —encara ara molt pròximes genèticament— i que les han empès a canviar tant i de manera tan diferent, els Raff han utilitzat un híbrid de les dues espècies i hi han jugat. El resultat ha estat sorprenent perquè l'híbrid no s'assembla ni al pare ni a la mare. A més, les conclusions apunten cap a l'equilibri puntuat, que implica una evolució amb frenades i accelerades, no gradual.

Tots dos han participat en unes jornades sobre "Forma i funció" al Museu de la Ciència de la Fundació La Caixa, a Barcelona.

—Què volien saber amb la recerca dels eriçons?

**RUDOLF R.:** El punt important d'aquest experiment és veure com ha pogut evolucionar el sistema que produeix un embrió. L'evolució no és només la morfologia d'una estructura en un moment donat sinó que són individus que reproduïen a cada generació una forma concreta. Si analitzem o observem organismes interrelacionats, el desenvolupament dels quals és radicalment diferent entre un i l'altre, podem veure els tipus de mecanismes que intervenen en el canvi evolutiu.

—I escullen, concretament, aquests eriçons perquè un té desenvolupament directe i l'altre indirecte?

**ELIZABETH R.:** Sí. Tots dos són eriçons i han modificat la seva modalitat de desenvolupament molt ràpidament. El que fem és agafar dos sistemes que són molt propers i comencem a analitzar el mecanisme.

—Com són de propers? On se situaria l'antecessor comú de totes dues espècies d'erició?

**RUDOLF R.:** Fa 4 milions d'anys.

**ELIZABETH R.:** Això vol dir una evolució ràpida!

**RUDOLF R.:** Han fet molt i molts dels canvis han estat amb base a la mane-

ra com es desenvolupen. Així doncs, intentem entendre si és possible que no calguin molts canvis subjacents per fer això. A nivell genètic, podria ser que uns pocs gens juguin un paper fonamental per als canvis o modificacions. Per això estem fent aquesta recerca.

—Quines eines utilitzen per esbrinar això?

**RUDOLF R.:** Utilitzem gens de crida i híbrids per entendre com funciona el sistema genètic. El fet que puguem fer híbrids entre organismes que són molt i molt diferents i analitzar quin desenvolupament tenen, ens diu que un nombre relativament petit de gens fan les coses que, a nosaltres, ens interessen.

—Però quina és la hipòtesi de la qual parteixen?

**RUDOLF R.:** Treballem amb diferents hipòtesis. Una hipòtesi és la diferència genètica entre si. Quan fem un híbrid ens preguntem si aquests dos eriçons tan diferents conserven compatibilitats entre si, i aquestes compatibilitats

*“Fem unes  
hipòtesis que,  
en altres sistemes  
diferents dels eriçons,  
això que hem deduït  
també succeiria”*

ens revelaran algunes de les diferències genètiques que existeixen. Com que és possible fer híbrids entre coses tan diferents i que, malgrat això, els híbrids funcionen, deduïm que encara que hi hagi determinades diferències genètiques els sistemes encara operen segons una pauta, o patró, que és harmoniosa.

—Però l'híbrid que els funciona és completament diferent dels altres.

**RUDOLF R.:** Sí, i no sabem perquè. El fill és diferent del pare i de la mare, de manera que volem veure la re-

lació que s'ha establert per desenvolupar aquest resultat de manera inesperada. Evidentment, això, com passa sovint en ciència, ens condueix a dues preguntes més.

—Quines?

**RUDOLF R.:** La nostra pregunta inicial era si aquests híbrids poden reeixir per veure la compatibilitat dels seus sistemes de desenvolupament i dels seus sistemes genètics. Volem veure els gens que es podien aïllar.

—Sí.

**RUDOLF R.:** Però l'híbrid resultant ens desperta altres preguntes sobre si hi ha un nou tipus de dinàmica que pugui ser generada sobre els sistemes de desenvolupament quan crees perturbacions poc habituals.

—Vol dir que hi alguna cosa comú que els permet reaccionar "positivament" a un estímul ambiental, com és, en aquest cas, la vostra manipulació?

**ELIZABETH R.:** L'híbrid ens indica una cosa molt important sobre la manera com funcionen els gens conjuntament per produir una forma, però no entenem què és el que està succeint. De totes maneres, els resultats ens ensenyen algunes coses.

—Quines?

**ELIZABETH R.:** Si agafem l'ou d'una tercera espècie d'erició de desenvolupament directe, el gran eriçó, i el creuem amb esperma de l'erició directe *H. erythrogramma* —molt proper a ell— i amb esperma de l'indirecte —deu vegades més distant en l'evolució—, obtenim el mateix resultat.

—I com ho interpreten, això?

**ELIZABETH R.:** Això ens indica, primer, que l'ou del desenvolupament directe és compatible amb el patró de desenvolupament indirecte i, segon, que el tipus de trajectòries de les dues espècies de desenvolupament directe són molt semblants. Això vol dir que aquest tipus de desenvolupament ha persistit durant molt i molt de temps.

—D'acord.

**ELIZABETH R.:** I llavors fem el procés contrari: agafem l'ou de l'espècie que s'ha desenvolupat indirectament i el fertilitzem amb esperma de l'espècie que es desenvolupa directament. I no funciona!



*“La genètica molecular  
ens ha indicat que els  
mateixos tipus de gens  
operen en tu, en mi,  
en un eriçó de mar,  
en una ‘Drosophila’  
o en un cuc”*

—Per què?

**ELIZABETH R.:** Rudolf, durant molts anys, ha estudiat els canvis en els ous i sabem que algunes coses succeeixen en el programa matern: en un gran eriçó [la tercera espècie], l'ou està preestructurat; de manera que coneix algunes de les seves tasques, i això està relacionat amb el desenvolupament directe, a causa dels canvis com es desenvolupa l'ou.

**RUDOLF R.:** Una de les coses que ens indica, per tant, és que, en el canvi cap a la forma nova, l'evolució funciona molt ràpidament. En canvi, en el cas de les espècies que mantenen la forma de desenvolupament, en aquest cas indirecta —com la *tuberculata*—, l'evolució és molt lenta. És a dir, que l'evolució no funciona a la mateixa velocitat en tots dos casos.

—És a dir, que les espècies que han evolucionat en la seva forma de desenvolupament i que ara ho fan directament tenen “memòria” del desenvolupament indirecte, però la que no ha variat la forma de desenvolupament i continua sent indirecta admet menys canvis?

**ELIZABETH R.:** Té una evolució més lenta.

—Interpreten que això confirma la teoria de Gould i Eldredge, que defensen que l'evolució de les espècies no és gradual sinó puntuada (en un moment do-

nat s'acumulen els canvis evolutius, per raons possiblement ambientals, i, en canvi, pot passar molt temps que l'evolució s'estanqui).

**RUDOLF R.:** Correcte. I no només en canvis d'estructura i morfologia sinó també en canvis genètics. L'equilibri puntuat va ser interpretat analitzant canvis de formes i morfologies. Els nostres experiments demostren que això també passa genèticament.

—La teoria de l'evolució, doncs, queda malparada?

**ELIZABETH R.:** Pot ser que alguns canvis siguin graduals i uns altres, puntuats. Sovint és un error pensar que ha de ser una cosa o una altra i que totes dues coses siguin incompatibles.

—Però quina extrapolació fan que afecti l'evolució, en sentit global?

**ELIZABETH R.:** El que ens indiquen les dades és que amb aquests dos eriçons podem demostrar un equilibri puntuat pel que fa a la genètica. Però té raó: nosaltres fem hipòtesis que, en altres sistemes diferents dels eriçons, això que hem deduït també succeiria.

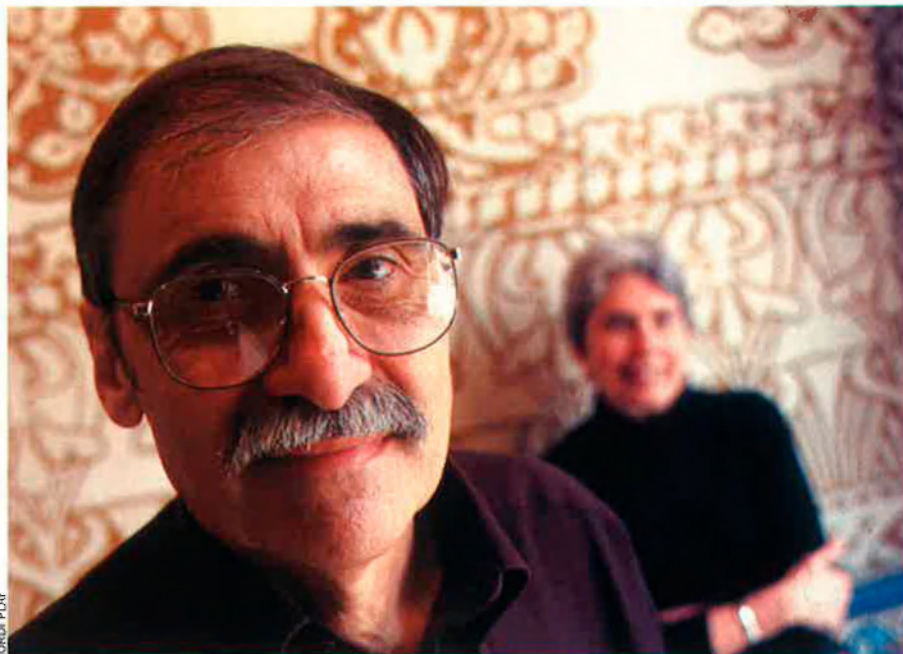
**RUDOLF R.:** Els altres resultats són que un nombre petit de gens tenen un gran efecte i això certament té el suport d'altres estudis amb bacteris. Això, en conseqüència, demostra que l'evolució no requereix milers i milers de gens per canviar, i per això pot procedir bastant ràpidament. I no requereix un canvi de tot el genoma, per dur a terme aquests canvis. Evidentment, nosaltres, com a científics, sempre volem extrapolar. No volem investigar només la vida dels eriçons de mar si no té cap connexió amb la resta d'éssers vius.

**ELIZABETH R.:** I aquest és un dels grans estímuls de la biologia en els darrers vint anys. Els científics hem descobert que tots els animals utilitzen gens similars per “adaptar” els seus cossos. Això no ho sabíem en els anys seixanta i setanta. De fet, quan nosaltres estudiàvem eriçons als anys seixanta, pensàvem que només estudiàvem eriçons. Ara hi ha hagut un gran pas endavant. La biologia té itineraris o trajectòries comunes: quan

## Biografia

**Rudolf A. Raff** és el pare de la biologia evolutiva del desenvolupament i la seva recerca s'ha centrat a esbrinar com evolucionen els mecanismes de desenvolupament dels éssers vius. Per aconseguir-ho utilitza embrions de petites espècies marines. Raff és doctor en bioquímica per la Duke University, va ser becari al mític MIT (Massachusetts Institute of Technology) i és fundador –i ara també director– de l'Indiana Molecular Biology Institute.

**Elizabeth C. Raff** és directora del Graduate Studies Program de la Duke University (EUA) i treballa amb el seu marit Rudolf en algunes investigacions. La seva recerca s'ha centrat a investigar i explicar de quina manera la informació codificada als gens dóna com a resultat una morfologia cel·lular tridimensional que funciona. Els seus treballs han estat publicats per *Science* i *Development*.



JORDI PLAY

estudies un animal, saps que estàs estudiant patrons d'altres animals i pots veure què és semblant i què és diferent. Els denominadors comuns permeten establir com es donen aquestes diferències.

—Quin potencial els ofereix la genètica molecular per saber com es desenvolupa un cos?

**ELIZABETH R.:** La genètica molecular ens ha indicat que els mateixos tipus de gens operen en tu, en mi, en un eriçó de mar, en una *Drosophila* o en un cuc. Per tant, podem utilitzar el nostre coneixement molecular a partir de l'observació de diferents animals per obtenir una imatge de com es dóna el desenvolupament a àmbit general.

—En tots aquests treballs uneixen diverses disciplines en el que anomenen biologia evolutiva del desenvolupament.

**ELIZABETH R.:** Sí. El camp que Rudolf ha establert amb aquests treballs i que és el títol també del seu últim llibre és *L'Evolució del desenvolupament*.

**RUDOLF R.:** En aquest llibre intento analitzar les maneres com evolucionen el desenvolupament i com aquest influeix sobre el decurs de l'evolució, perquè, tenint en compte la manera com la forma arriba a cada generació, hi ha d'haver una connexió íntima en-

tre aquests dos tipus de fenòmens: un, que actua en llargs períodes de temps, es relaciona amb altres factors que es produeixen de generació en generació, i així s'estableix un entrellaçament molt íntim entre tots dos.

—Han vingut al Museu de la Ciència de Barcelona a unes jornades sobre "Forma i funció", un debat que enfronta els estudiosos més darwinistes –que defensen que la funció és la que fa evolucionar els organismes en un sentit o un altre– i els que creuen que la forma és el motor de l'evolució. On se situarien vostès?

**ELIZABETH R.:** Totes dues coses estan entrellaçades i la qüestió és si funcionen en el desenvolupament. D'altra banda, sí que penso en les estructures. Penso com generem estructures: com funcionen les proteïnes que formen les estructures i com s'ho fan per desenvolupar-les.

**RUDOLF R.:** Però també per a vostè l'estructura és part d'una màquina que funciona. És inseparable de la funció.

**ELIZABETH R.:** En l'evolució, si un canvi no funciona, senzillament desapareix. Per tant, la forma ha de funcionar i és impossible separar-la de la seva funció.

Alex Milian

