

CAPÍTOL I ELS FONAMENTS: L'EVOLUCIÓ DE L'ESPÈCIE HUMANA¹

“La història de la matèria es divideix en quatre fases: 1ª. L'Edat de la Matèria Inerta, on regna la selecció fonamental²; 2ª. L'Edat de la Matèria viva, on regna la selecció natural; 3ª. L'Edat de la Matèria Culta, on regna la selecció cultural; 4ª. L'Edat de la matèria social, on regna la selecció social”. (W. 818).

“Selecció natural: solució busca problema” (W.823)

INTRODUCCIÓ

L'objectiu d'aquest primer capítol és fer un resum del plantejament general de la teoria de l'evolució de Charles Darwin i d'alguns complements bàsics i derivacions, ja que està en la base de l'aproximació evolucionista a les ciències socials que es proposa en el conjunt del text.

Alguns clàssics de les ciències socials han fet servir elements de Darwin com ara Marx, des de la perspectiva del conflicte i Spencer des d'una perspectiva més funcionalista, que ja han estat molt tractats des de la sociologia i altres ciències socials. Aquest llibre vol recollir una tradició més moderna que recull idees del passat, però hi dóna una nova orientació, més fidel a l'original, i poc coneguda en el nostre entorn cultural.

Així doncs, el primer apartat és una descripció filogenètica de la història de l'espècie humana que dóna els mínims elements per poder situar-se en fets establerts per entendre quina resposta teòrica dóna Darwin³ a aquesta descripció història⁴

¹ Revisió de Josep M. Masjuan, novembre de 2015

² La selecció fonamental decideix entre el que és compatible i estable respecte les lleis fonamentals de la naturalesa. (W. 830) a Wagensberg, J. (2012) *Más árboles que ramas*. Barcelona Tusquets. Tots els aforismes són trets d'aquest llibre o del que se cita a sota del 2010, en la nota 2.

³ La bibliografia bàsica d'aquest capítol ha estat Darwin Ch, (2009, 1ªed, 1871) *El origen del hombre*: Barcelona, Crítica
Boyd, R. & Silk, J.B. (2004) *Cómo evolucionaron los humanos*, Barcelona: Ariel

⁴ D.S. Massey (2001) A brief History of Human Society: The origins and Role of emotions in Social Life. *American Sociological Review*, 2002 v. 67 p.1-29

El segon apartat, conté un breu resum de la teoria de Darwin, on s'explicita el mecanisme que descriu els canvis en el temps dels organismes per selecció natural dels individus més adaptats biològicament a l'entorn.

El tercer apartat, pretén donar els elements bàsics de genètica per entendre com es produeix l'ontogènia d'un ésser humà, és a dir, com un organisme es desenvolupa, des del codi genètic fins a un organisme humà capaç de sobreviure i reproduir-se. En aquest apartat s'expliquen breument les descobertes recents de la biologia del desenvolupament, les quals recomponen la pota que li faltava a la teoria de la nova síntesi fis ara vigent.

A parer meu aquest canvi de paradigma, que es va consolidant després de moltes aportacions i esforços en els darrers anys, hauria d'afectar a les relacions entre la naturalesa i la cultura tal com s'han entès tradicionalment en el corrent principal de les ciències socials.

BREU HISTÒRIA DE L'EVOLUCIÓ DE L'ESPÈCIE HUMANA

La filogènia és la descripció de la història d'una espècie, reconstruïda a partir dels fòssils descoberts i l'evidència del DNA. Per tant les explicacions filogenètiques donen compte dels canvis d'una espècie a través del temps.

A partir d'aquests canvis filogenètics estudiats històricament a base de la recerca arqueològica i més recentment també amb la biologia molecular, hom es pot fer una idea del procés d'evolució fenotípica de l'espècie humana des dels ancestres humans fins a l'*homo sapiens* actual.

Ateses les característiques d'aquests llibre s'ha tingut més en compte els períodes relativament recents, en els quals s'ha produït una evolució biològica i també una evolució cultural, que l'evolució dels ancestres pre-humans. Com es pot comprendre per la dificultat de recollir dades precises, subsisteixen hipòtesis diferents entre els científics sobre les concrecions de l'esquema. L'objectiu d'aquest apartat és establir

García Leal A, (2013) *El azar creador. La evolución de la vida compleja i de la inteligencia*. Barcelona: Tusquets

R. Dunbar (2007) *La odisea de la humanidad*. Barcelona, Crítica, pàg 23.

Henderson, M. (2012) *50 cosas que hay que saber sobre genética*. Barcelona, Ariel.

Wagenswerg, J.(2010) *Las raíces triviales de lo fundamental*. Barcelona, Tusquets

⁴ De fet en aquest capítol introductor fem referència a tres de les qüestions que ens hem de plantejar i respondre des de la Biologia, a partir de la ordenació de Tinbergen, N. On the aims and methods of Ethology. *Zeitschrift für tierpsychologie*, 1963, 20: 410-463. A l'apèndix hem inclòs un esquema de les quatre maneres d'explicar amb quatre exemples, El capítol VII del text fa referència als mecanismes com a causes pròximes

un esquema i alguns dels elements fonamentals que permeten situar el que es descriu en el cos d'aquesta publicació.

Les etapes fonamentals de l'evolució humana

La taula següent ens mostra les principals etapes de l'evolució de l'univers, ampliant el que fa referència a la humanitat actual.

Quadre: Cronologia històrica⁵

Anys abans Del present	Esdeveniments destacats de l'evolució de l'univers.
13.500 milions	Apareixen la matèria i l'energia. Inici de la física. Apareixen els àtoms i les molècules. Inici de la química.
4.500 milions	Formació del planeta terra.
3.800 milions	Sorgeixen els organismes. Inici de la biologia.
6. milions	L'última àvia comuna d'humans i ximpanzés.
2,5 milions	Evolució del gènere <i>Homo</i> a l'Àfrica. Primeres eines de pedra.
2, milions	Els humans s'estenen des de l'Àfrica cap a Euràsia. Evolució de diferents espècies humanes.
500.000	Els neanderthals evolucionen a Europa i l'Orient mitjà.
300.000	Ès quotidià del foc.
200.000	L' <i>Homo sapiens</i> evoluciona a l'est de l'Àfrica,
70.000	Revolució cognitiva, Sorgeix el llenguatge ficcional. Inici de la història. Els <i>sàpiens</i> evolucionen fora de l'Àfrica
45.000	Els <i>sàpiens</i> s'estableixen a Austràlia. Extinció de la megafauna australiana.
30.000	Extinció dels Neanderthals
16.000	Els <i>sàpiens</i> s'estableixen a Amèrica. Extinció de la megafauna americana.
13.000	Extinció de <i>Homo floresiensis</i> . L' <i>Homo sapiens</i> és l'única espècie humana sobrevivent

Els nostres ancestres

Els primats superiors tenen conductes semblants a les dels humans com ara la invenció d'eines, una moral primària, l'organització jeràrquica i la guerra d'extermini, però no són capaços d'acumular i millorar les innovacions culturals ni de comunicar-se simbòlicament. Tot i les diferències assenyalades, descobriments relativament recents, qüestionen la separació radical establerta entre els primats i els humans⁶

Com assenyala Dunbar⁷ durant els anys vuitantes va canviar la posició ocupada en l'evolució de les espècies entre els grans Simis (Ximpanzé, Bonobos Goril·les i Orangutans) i el Humans. Fins llavors es considerava que els Humans formaven una línia filogenètica amb un ancestre comú diferent dels altres simis. A partir

⁵ Font: Noah Harari, Y,(2014) *Sàpiens Una breu història de la humanitat*. Barcelona Edicions 62, p. 9-11.

⁶ R. Dunbar (2007) *La odisea de la humanidad*. Barcelona, Crítica, pàg 23.

d'aquest moment i a partir dels estudis genètics pertinents, es va concloure que la gran separació s'havia produït entre els orangutans i els altres simis ara fa més o menys 15 milions d'anys. Els goril·les es van separar del llinatge que va donar lloc als ximpanzés, bonobos i humans fa entre 5 i 7 milions d'anys.

Un ximpanzé, tot i no ser capaç de posar-se dret per caminar, és capaç de llençar pedres amb les mans, de trencar nous en un entorn determinat i de caçar termites dels arbres en altres entorns, és a dir de desenvolupar estratègies diferents en entorns diferents per sobreviure.

Els nostres ancestres van desenvolupar un ordre social complexe, com explica Godall⁸, basat en una jerarquia social de dominació en grups separats de mascles i femelles i en les guerres d'extermini contra membres de la mateixa espècie, tot plegat recolzat en l'exercici del poder pur i dur exercit pels mascles dominants gràcies a la seva mida, pes i força física⁹ També tenen instints per la defensa del ramat familiar i per la dominació sobre les femelles en benefici de la pròpia reproducció, encara que els altres mascles més febles es quedin a la cuneta.

Així doncs, ni la cultura ni la violència amb els membres de la mateixa espècie són exclusives dels humans, però com s'ha indicat abans només els humans tenen la capacitat de posseir una cultura acumulativa a partir de la qual introdueixen millores generalment adaptatives.

La taula següent mostra com hi ha una correlació entre la mida dels grups entre els animals i la mida del cervell i com a conseqüència l'augment de les capacitats mentals.

Quadre: Els impulsos bàsics de les espècies, la mida dels grups i del cervell¹⁰.

Mida neocòrtex	Sistema social	Nivell de consciència	Domini socials de Motivació
Petita	Un individu	Rèptils: Conducta reflexa	Autoprotecció:
	Diada	Mamífers: Percepció afectiva	Aparellament
	Grups petits lligats al parentesc	Primats: Consciència cognitiva. (awareness)	Manteniment de la relació i cura parental
	Grups més grans de parentesc ampliat	Grans simis: Auto consciència (awareness)	Formació de coalicions
Més gran	Grups molt grans,	Humans. Consciència	Cultural

⁸ Godall Vídeo

⁹ Gintis, H. (2012) *Zoon Politicon: The evolutionary roots of humans sociopolitical systems* Paper. Santa Fe Institute and Central European University.

¹⁰ Bernard, L.C., Mills, M., Swenson, L. Walsh (2006) An evolutionary theory of human motivation. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, 2005, 131(2), p. 129-184

	possibles gràcies al llenguatge simbòlic.	de ser conscients (consciousness)	
--	---	-----------------------------------	--

Les *conductes reflexes*, pròpies dels rèptils, són automàtiques, tot i que poden ser més o menys complexes, depenen de nuclis motors del tronc cerebral i el cervellet. La *consciència afectiva* pròpia de tots els mamífers depèn dels nuclis subcorticals del cervell i consisteix en les experiències primàries de plaer i dolor sense elements pròpiament cognitius; està en la base dels nivells de consciència cognitius superiors i és la guia no condicionada de la vida. La *consciència cognitiva*, pròpia dels primats està lligada al sistema límbic del cervell responsable de les emocions, de la memòria a curt termini i l'aprenentatge.. *L'auto consciència* correspon a un neocòrtex més desenvolupat, és pròpia dels primats superiors, els quals es comuniquen amb vocalitzacions emocionals. Per última la capacitat de tenir *consciència de ser conscients* és pròpia dels humans i necessita del llenguatge simbòlic¹¹ i d'un neocòrtex molt més desenvolupat, capaç de guardar memòria a llarg termini.¹²

La mida dels grups té a veure amb el tipus de relacions socials que es produeixen, amb el nivell de percepció de la pròpia realitat interna i com a conseqüència del camp principal de motivació orientat a la pròpia supervivència i a la reproducció de l'espècie.

Per exemple, la formació de coalicions ja indica una forma més complexa de defensa del territori propi fins i tot contra els individus de la mateixa espècie.

A mesura que els grups humans es fan més grans augmenta la necessitat d'expressar les pròpies necessitats i cercar la col·laboració dels parents i dels amics i de poder negociar els conflictes d'interessos que es van plantejant. Una habilitat humana relacionada amb aquest nou context de les societats pre-neolítiques és la capacitat del llenguatge simbòlic. No hi ha acord entre els antropòlegs en fixar una data d'aquest esdeveniment, però el que és cert és que 50.000 anys en darrera aquesta nova habilitat estava plenament establerta.

Els humans del Paleolític

Abans del Paleolític entren en escena primer els Australopitecs i després els anomenats Homo Habilis; els primers tenen un cervell de 450 c.c. molt semblant a

¹¹ Henderson, M. 50 coses... p.108 Des de la genètica es considera que el gen FOXP2, que mostra dues diferències amb el mateix gen del ximpanzè està relacionat amb el llenguatge i el gen HAIR1, que mostra 18 diferències amb el del Ximpanzè pot estar relacionat amb l'augment de la mida del cervell i amb la intel·ligència.

¹² Panksepp, J. Asma, S., Curran, G. Gabriel, R., Greif, Th. (2012) The philosophical implications of Affective Neuroscience. *Journal of Consciousness Studies*, 19 No 3-4, p. 6-48, En aquest primer capítol hem resumit molt l'explicació, atès que en el capítol VII, dedicat a les causes pròximes del comportament, s'ampliarà.

la dels altres simis i els segons de 600 c.c. molt més petit que el de l'Homo Erectus que inicia la seva carrera per la vida dos milions abans d'ara i no s'extingeix fins el Paleolític Superior (50.000 aprox. AP), amb una mida del cervell el doble de l'Homo Habilis i molt pròxima als humans actuals, amb menys volum corporal i més força en les cames que en els braços. De fet, aquest primer humà pròpiament dit, una mica menys desenvolupat que nosaltres és el que ha estat més temps ocupant la terra (1,5 M anys), escampant-se per Africa, Asia, l'Orient Mitjà i Europa.

L'entorn de la sabana va propiciar¹³ el bipedisme per poder mirar per sobre dels arbres durant l'última part del paleolític, la possibilitat de menjar carn derivada de la caça, la descoberta del foc (500 aprox. mil anys) i la utilització del foc per la cocció dels aliments, 200 mil anys després, van crear un nínxol per als humans a través del qual es va poder organitzar la cooperació coordinada dirigida a la recerca en grup de restes de menjar. Aquests canvis facilitaren canvis en l'estructura del cos en l'ús més eficient de les armes i un creixement del cervell que feia possible la coordinació dels moviments necessaris. L'Homo sapiens del Paleolític des de fa uns 200 mil anys ja disposava d'un cervell de la mateixa mida que l'actual (1.400 c.c. aprox.); val a dir que els Neandertals que van viure a partir del mateix temps amb un cervell una mica més gran (1,500 c.c.), de fet és van extingir ara fa 30 mil anys aproximadament. Sembla que no van ser capaços de desenvolupar ni un llenguatge ni una cultura complexa i es van extingir potser perquè van ser eliminats pels humans (Cro-magnons).

El creixement del cervell sembla més versemblant associar-lo a l'increment de la mida dels grups i per tant a l'augment de les interaccions, que no pas a l'evolució de la cultura material pròpiament dita. La destal de ma que va ser inventada durant el Paleolític inferior és manté sense canvis durant un milió d'anys.

Al inici del paleolític superior alguns autors afirmen que es va produir una millora de les habilitats cognitives dels humans¹⁴ les quals podien ser el resultat d'un canvi genètic que va fer que augmentés la matèria gris un 20%, la qual cosa va fer possible habilitats diferents d'abstracció i pensament. Aquests canvis podrien ser els facilitadors de la revolució del Paleolític Superior, la qual es va generalitzar a partir de l'emigració dels humans cap a Europa, el creixement de l'intercanvi comercial i les primeres comunitats sedentàries amb una agricultura rudimentària en alguns llocs.

¹³ Mentre no es demostrï el contrari, "propiciar" s'ha d'entendre en el sentit darwinista, no en el lamarkia, tot esperant els aclariments futurs de l'epigenètica com s'explicarà més endavant en aquest mateix capítol.

¹⁴ Boyd and Silk (2004) *Cómo evolucionaron los...* p.408

En el paleolític superior però abans de l'emigració cap a Europa, els humans van ser capaços de desenvolupar un mode de vida relativament diferent dels seus ancestres. Van utilitzar matèries primes per fabricar eines que provenien de llocs situats a cents quilòmetres de distància, per tant van cooperar amb persones més enllà de l'entorn familiar. es van organitzar en bandes i tribus de caçadors/recol·lectors a base de líders naturals, el poder dels quals no depenia només de la força física sinó de l'habilitat per persuadir i motivar els altres membres de la tribu en les diferents tasques, entre les quals l'organització de la caça o la pesca i la cura comunitària dels infants.¹⁵

Abans de sortir d'Àfrica cap Europa, els primers humans moderns ja van viure en unitats tribals que agrupaven diferents bandes fins arribar en conjunt a un nombre d'individus que podia fluctuar des d'alguns centenars fins a alguns milers La utilització quotidiana del foc (300.000 anys aprox.)va facilitar la sociabilitat, i la creació de campaments, on s'alimentaven a través de la caça i la recol·lecció. El dimorfisme sexual era molt menor que en els primers homínids, existia divisió del treball entre dones i homes associat a les diferències corporals.

Pel que sembla aquestes tribus compartien sentiments de pertinença i algunes institucions com el repartiment del menjar, fer i rebre regals, rituals d'enterrament i batusses amb les tribus rivals. Aquestes agrupacions anaven més enllà de les famílies i no eren presents entre els primats superiors.

Abans de la revolució del Paleolític Superior quan és va produir l'emigració cap a Europa dels humans moderns (70.000 anys A.P. aprox.), la utilització del bronze i les noves maneres de pol·lir la pedra, els humans van assolir plenament les característiques fenotípiques que els caracteritzen com el bipedisme, la mida del cervell que va fer possible el cinquè nivell d'intencionalitat i el canvi en l'aparell fonador que va fer possible el llenguatge parlat. Cal dir però, que no hi ha acord entre els científics sobre la data en que els humans van assolir el llenguatge simbòlic, per uns la complexitat del llenguatge requereix molt temps d'evolució i per tant consideren que d'alguna manera va aparèixer molt aviat entre els ancestres dels humans actuals, mentre que per uns altres sembla més probable que el llenguatge simbòlic es va desenvolupar en els últims 100.000 anys. Com diu l'esquema aprox. Als 70.000 va aparèixer el llenguatge de ficció.

En síntesis, l'evolució del gènere "*homo*" pel que fa a les seves capacitats per construir eines i elements culturals de caràcter simbòlic es podrien resumir en les següents¹⁶.

1. 2,6 M¹⁷. Fabricació d'eines amb una aresta tallant la qual cosa necessita un cert grau de planificació. No hi ha progrés tècnic atès que quan les posseeixen ja no les canvien mai.
2. 1,6 M. Destrals tallants però de forma regular de manera que havien de tenir un motlle mental per modificar la morfologia de la pedra. Però un cop inventades tampoc les canvien. (*Homo erectus*)
3. 600 m. És prepara el nucli de la roca abans de fer l'eina definitiva. Domini del foc durant aquest període i comunicació amb sons i gestos sense constàncies de pensament simbòlic. (*Homo heidelbergensis*),
4. .200m. Eines més específiques que les anteriors que tampoc les modifiquen un cop inventades, pensament simbòlic molt limitat en el cas dels Neandertals, però més elaborat en els humans moderns abans de la sortida d'Àfrica o sigui fa uns 150.000 anys aproximadament quan també es posa en marxa l'aprenentatge social.
5. Fa 50m anys aprox., apareixen obres d'art, pensament simbòlic elaborat i llenguatge sintàctic (pedra polida, treballs amb ossos, agulles, figures etc.)

Dunbar¹⁸ explica que la postura bípeda, el desenvolupament de la mida del cervell i la utilització d'eines que s'han considerat els elements definidors de la humanitat procedeixen de períodes de temps bastant diferents. Això indica que, en comptes d'aparèixer de cop com a resultat d'una mutació massiva, van anar sorgint a poc a poc al llarg de la nostra història evolutiva, començant més o menys quan els nostres ancestres es van separar dels altres simis. No hi ha cap moment determinat en el que es pugui considerar es van convertir en humans, més aviat la història de la nostra espècie es pot considerar com el desenvolupament de graus més grans d'humanitat que finalment es reuniren tots fa només 50.000 anys amb la revolució del Paleolític Superior".

¹⁶ Bueno D. (*El enigma de la libertad. Una perspectiva biológica y evolutiva de la libertad humana*. València: PUV Bromera. (p. 235 i ss)

¹⁷ "M" es refereix a milions d'anys i "m" a mils d'anys.

¹⁸ Dunbar op. cit. p.36

LA TEORIA DE L'EVOLUCIÓ

La teoria de l'evolució de les espècies de Darwin Ch.(1859 i 1871)¹⁹ es basa en tres postulats: la lluita per la supervivència²⁰, la variació en l'eficàcia biològica i l'herència de la variació.

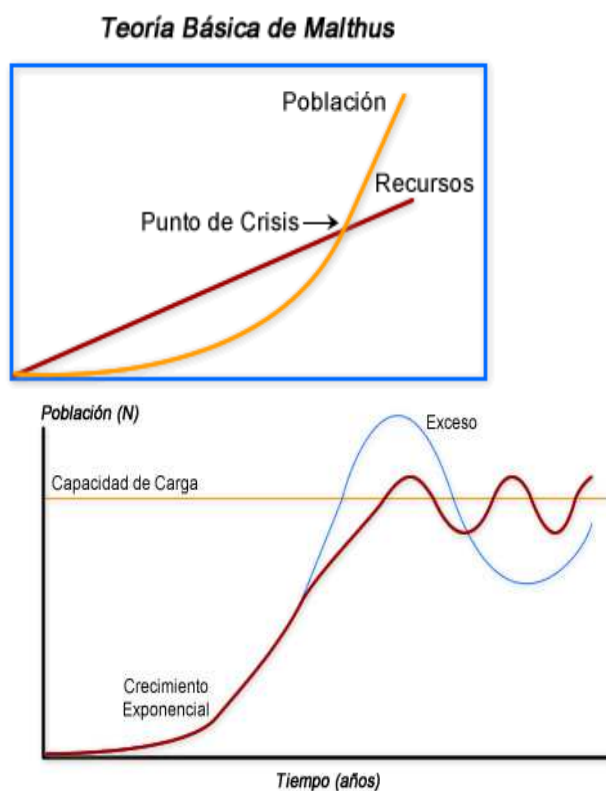
1. La capacitat d'expansió d'una població és infinita, però la capacitat dels hàbitats per suportar a les poblacions és sempre limitada, la qual cosa genera una lluita per l'existència.
2. Els individus dintre de les poblacions varien i aquesta variació afecta a les capacitats dels individus per sobreviure i reproduir-se.
3. Les variacions és transmeten de pares a fills.

La teoria de l'evolució de les espècies és fonamenta en primer lloc en dos conceptes relacionats, la *lluita per l'existència* i la *selecció natural*. Influenciat per Malthus, havia constatat que el creixement dels éssers vius era exponencial de manera que si res ho impedís cada espècie podria omplir per ella mateixa tot el planeta. Això no és així, com ho mostra l'observació de les formes de vida sobre la terra, perquè els recursos són limitats i no creixen a la mateixa velocitat. Així doncs cal suposar que es produeix una lluita per captar recursos per sobreviure i reproduir-se de les espècies entre elles, entre els individus d'una mateixa espècie, i entre els éssers vius i l'entorn. En aquesta lluita la selecció natural funciona com un filtre que deixa passar aquells individus que en cada un dels entorns locals tenen les capacitats més adequades.

En segon lloc, els éssers vius es caracteritzen per la possibilitat de replicar-se transmetent la seva herència a les generacions futures directament o a través de l'aparellament sexual, i, en tercer lloc, d'introduir en les seves característiques per atzar petits canvis que en determinades circumstàncies de l'entorn seran més eficients de cara a sobreviure i reproduir-se i per tant seran seleccionats i tendiran a escampar-se a còpia de generacions a la majoria de la població.

²⁰ La lluita per la vida es dona entre espècies diferents, com s'exemplifica en la figura 1.3 però també entre els individus de la mateixa espècie.

FIGURA 1.1 POBLACIÓ I RECURSOS



sociales@gimnasiovirtual.edu.co

L'any 1798 Tomàs Malthus va publicar Assaigs sobre el principi de la població en el qual va fer la hipòtesis que la població podria ser que creixés exponencialment mentre que els recursos només creixerien linealment (fig. sup). Posteriorment, l'any 1838 el matemàtic Verlhust, va modificar el creixement dels recursos suposat per Malthus, posant un límit al creixement dels recursos en el sentit que la terra com altres sistemes tenia una capacitat de càrrega limitada que no es podia sobrepassar (fig. inf.). En definitiva que la falta de recursos generaria una pressió selectiva sobre la població humana que limitaria el seu creixement. Mirat des dels ulls actuals la situació no és tan simple però continua essent veritat que si no es prenen mesures dràstiques, la capacitat de contaminació dels humans està augmentant de tal manera que pot afectar la capacitat de carga del sistema.

Darwin va recollir la idea de Malthus i la va convertir en un dels supòsits de la seva teoria de la selecció natural.

Com es sabut els exemples més a ma per exemplificar els dos tipus de creixement en el nostre mon fan referència al tipus d'interès que donen els bancs als dipòsits. En un cas el creixement lineal anomenat simple i en l'altre el creixement exponencial o geomètric.

El creixement lineal: A la successió 2, 4, 6, 8, 10 12... cada vegada es sumen 2 unitats al nombre anterior. Per tant $Y = X + 2$

El creixement geomètric: A la successió geomètrica cada terme després del primer és multiplica per una constant com ara 2, 4, 8, 16, 32, 64... Per tant. $Y=2$ amb exponent x .

Si 3000€ es dipositen en un banc durant 10 anys a una taxa d'interès simple del 4% al cap dels 10 anys tindrem $C_t = 3000 * (1 + it) = 3000 * (1 + 0,04 * 10) = 3000 * 1,4 = 4.200$

Si 3.000€ els dipositem en el mateix banc a una taxa d'interès geomètric anual del 4% al cap de 10 anys tindrem: $1000 * (1+0,04)$ exponent 10 = 4.432 €

Les corbes exponencials, al començament creixen a poc a poc,, però, a mesura que passa el temps es van accelerant, fent gran la diferència de capital final segons els dos càlculs.

La hipòtesis de Malthus que recull Darwin és que mentre els recursos creixen linealment la població creix exponencialment.

Per als que els agraden les matemàtiques .

Podem considerar que es pot tractar el tema com una població que creix exponencialment a cada moment però sotmesa a una limitació de recursos que significa la màxima càrrega possible del sistema.

En aquest cas el creixement = $dP/dT = rP(L-P)$,

P és la població, T el temps, L els límits màxim de càrrega, i r la taxa de creixement. P_i Població inicial, P_t població final.

La primitiva d'aquesta funció derivada és $P = P_i * L / ((P_i + (L - P_i) \text{ exponent } - LrT))$,

S'anomena creixement inhibít i correspon a una funció logística que genera oscil·lacions a prop del límit i caos en alguns valors.

Si voleu comprovar-ho podeu fer-ho amb l'equació proposada pel biòleg P.Verhulst, per modelitzar el creixement d'una població d'insectes en un entorn limitat.

$X_{sig.} = K(1-X)X$.

X és la població d'insectes. K és una constant.

X_{sig} és el resultat de resoldre l'equació, tenint en compte el valor d'una constant (K) i un valor inicial per X, El resultat assolit en el primer pas torna a entrar a l'equació amb el nou valor de X.

Podem suposar que X val 0,01 i K 2,7, el resultat és $X_{sig}=0,2430$. Introduïm aquest valor de X a l'equació, i els que vagin sortint, fins que arribin a 1. Per veure-ho més clar es pot construir una gràfica en la línia horitzontal – abscissa-- hi hagin els valors de X i en la verticals –ordenades-- els valors de X_{sig} . I observeu què passa..

Darwin, abans que es fessin públics els descobriments de Mendel, ja s'adonà que el que era clau per l'evolució era la variació de trets fenotípics que d'alguna manera

s'havien de transmetre als descendents a partir del procés de la reproducció i per això mateix va accentuar des del primer moment la importància de l'eficàcia reproductiva.

Des del punt de vista científic aquest procés no respon a cap disseny previ, sinó que el sol fet d'haver-hi diferents entorns que van canviant, com el clima, el paisatge, o la presència d'altres espècies fa que del conjunt d'individus d'una espècie sobrevisquin i sobretot deixin més descendència els que estan més adaptats a l'entorn. No es tracta dels millors, genèricament parlant, sinó dels que tenen unes característiques més adaptades a l'entorn local concret.

L'evolució de les espècies es pot definir com herència amb modificació, la qual, sotmesa a la pressió de l'entorn, roman quan els seus portadors sobreviuen i deixen més descendents.

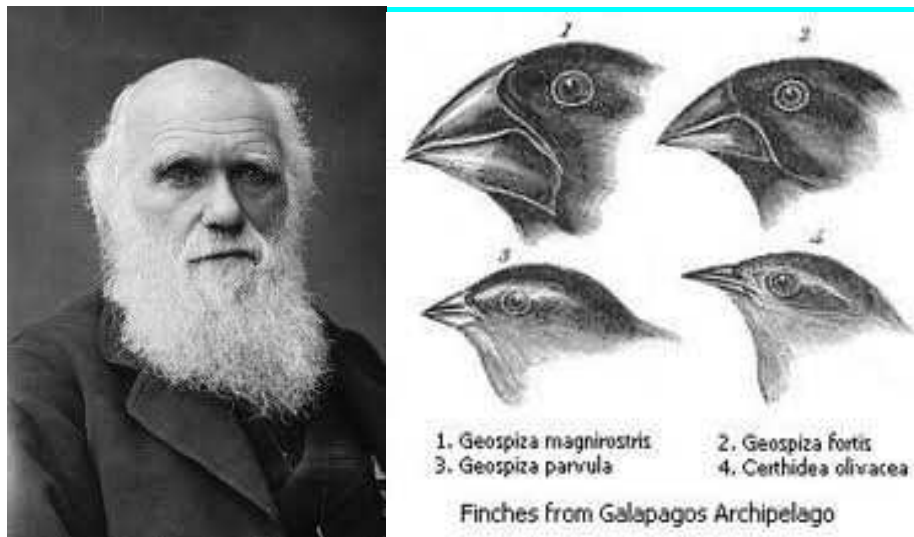
Qualsevol variació hereditària que augmenti la probabilitat de que un organisme sobrevisqui i es reproduïxi, augmenta en freqüència en les següents generacions, precisament perquè els organismes portadors de tal variants deixen més descendents que els que no les tenen. L'aparició d'espècies noves es deguda a l'acumulació de diferències en individus inicialment de la mateixa espècie, que han quedat separats per fenòmens migratoris o per canvis en l'entorn físic i per tant han desenvolupat canvis fenotípics i genotípics fins al punt que ja no tenen possibilitat d'aparellar-se sexualment uns amb els altres., D'aquesta manera és van consolidant les variants que defineixen la nova espècie.

Les teories de l'evolució es fonamenten en l'adaptació dels individus al seu entorn, per tant les explicacions evolucionistes ens diuen per què els individus tenen unes característiques que els hi donen avantatges selectives.

Això vol dir que les explicacions evolucionistes en biologia són *conseqüencialistes* perquè primer es produeix un canvi genètic atzarós que s'expressa en unes característiques en l'organisme que en aquell context augmenten l'adaptació biològica de l'individu afectat, el qual tindrà més descendència i a còpia de temps s'anirà fixant aquella nova característica en la majoria de la població.

És interessant ressaltar que Darwin en els seus textos prefereix no utilitzar la paraula "evolució" perquè, segons ell, té connotacions de desplegament intern i en canvi la seva teoria suposa que hi ha un canvi atzarós que es difon i generalitza si comporta avantatges competitives en relació als altres existents en aquell context local concret.

FIGURA 1.2 ELS QUATRE PINSANS DE DARWIN



La figura mostra els quatre pinsans dibuixats per Darwin, habitants de les illes “Galápagos” on hi ha diferents gèneres i espècies que es diferencien externament per la forma dels becs.

De fet són quatre espècies diferents que habiten en nínxols ecològics diferents i estan especialitzades pel tipus d'alimentació. Unes variants s'alimenten de llavors, altres dels cucs que troben en els arbres, o a terra, altres de flors.

És un exemple que mostra com petites variants en el fenotip, es produeixen quan diversos individus amb un origen comú han viscut aïllats i s'han adaptat a condicions de l'entorn diferents fins a tal punt, en aquest cas, que no es poden aparellar entre ells, i això fa que siguin considerades espècies diferents.

Des del punt de vista genètic, després de les aportacions de Mendel i de les descobertes científiques des dels inicis del segle XX, es pot descriure aquest procés d'una manera simplista però entenedora. Suposem un caràcter fenotípic mesurable, que varia d'una manera contínua, com ara la forma del bec i suposem també que el genoma té dos al·lels A i B que actuen en el mateix locus genètic per controlar la mida del bec. Fem la hipòtesis que el gen d'aquest locus activa la producció d'una hormona que en el cas A estimula el creixement del bec, mentre que en el cas B limita el seu creixement. Com és sabut i s'explica en el text, cada organisme que es reproduïx sexualment rep per cada locus un al·lel del pare i un altre de la mare. Els dos al·lels poden ser iguals o diferents o sigui que en la població hi haurà individus AA AB BB en proporcions diferents que acostumen a ser $\frac{1}{4}$ AA $\frac{1}{2}$ AB —perquè també hi ha el BA, que fa la mateixa funció— i $\frac{1}{4}$ BB. A partir d'aquesta distribució en la població hi haurà un 25% amb els becs grans un 50% amb els becs mitjans i el 25% amb becs petits. Si no hi ha cap mutació, aquestes proporcions es mantindran al llarg del temps. El fet que la selecció natural actuï sobre tot el fenotip, fa que aquestes variants en poblacions grans formin una corba normal, en la qual la mitjana sigui la combinació més adaptativa en aquell nínxol concret.

La selecció sexual

Darwin diferencia entre els caràcters sexuals primaris de tipus anatòmic o fisiològic i els caràcters sexuals secundaris vinculats a les aparences externes d'ambdós sexes, com la bellesa o la força. Aquets trets no sembla que tinguin relació amb la

supervivència ja que a vegades tenen efectes negatius, tot i que puguin ser positius per la reproducció, com les cues dels pavons reials

En la selecció sexual les variants que es poden transmetre a la descendència passen un primer filtre degut a l'elecció per part dels individus, generalment femelles, de l'individu de l'altre sexe amb qui prefereixin copular. A partir de l'èxit reproductiu dels descendents, la selecció natural actua normalment.

Darwin, a partir de tota la informació recollida, considera que en els animals i entre els homínids és més corrent que siguin les femelles les que triïn els mascles per copular tenint en compte la diferència d'inversió parental d'uns i altres. En canvi, entre els humans moderns es poden donar els dos fenòmens, la tria dels mascles per les femelles i al revés, segons els contextos de cada societat. Un exemple és la necessitat actual de les dones d'accentuar la seva bellesa natural amb joies i vestits elegants i seductors. En els dos casos es tracta d'una elecció intersexual.

En moltes espècies, dos mascles lluiten per aparellar-se amb una determinada femella, i un dels dos guanya la partida sometent a l'altre, sense matar-lo, i per tant té més probabilitats de reproduir els seus gens, perquè és més fàcil que sigui escollit per la seva força que el que ha estat derrotat. En aquest cas s'anomena selecció intrasexual. La competència entre els mascles de la mateixa espècie és la que dona per resultat, a partir del major èxit reproductiu dels vencedors, que les cornamentes dels cèrvols puguin anar creixent progressivament.

FIGURA 1.3 DEPREDADORS I PRESES



Vito Volterra i Alfred Locka van formular cadascú per seu compte, al voltant de l'any 1925 l'equació que formalitza l'evolució de dues espècies animals quan una s'alimenta de l'altra, com es el cas dels llops i els conills. El seu model ha estat molt útil no solament pel cas concret de dues espècies animals en competència sinó en altres camps com en la relació entre el

sistema immunològic i els microbis o la relació econòmica entre els recursos existents i els consumidors. Per il·lustrar aquest model es pot imaginar una primera situació en la qual ambdues espècies viuen separades entre sí. En aquest cas hipotètic els llops tindrien molta dificultat de trobar aliment i per tant moririen amb una taxa de mortalitat elevada que faria que la població disminuís exponencialment fins a la seva desaparició atès que la població s'aniria morint prematurament i per tant el nombre de descendents també aniria decreixent fins arribar a l'extinció.

Per seu cantó suposem que els conills poguessin disposar d'alimentació d'herbes abundants en el seu propi medi i per tant anirien creixent exponencialment sense cap limitació al menys fins que no haguessin esgotat totalment la flora del territori. Fins aquí hem utilitzat el mateix model de Malthus en les dues situacions possibles, la limitació de recursos en el cas dels llops i l'abundància dels mateixos en l'altre.

Imaginem una segona situació abans de l'extinció dels predadors en que les dues espècies es trobin en un mateix territori. El model anterior s'ha de complementar amb una idea molt senzilla que és fàcil de modelitzar matemàticament, Les trobades entre les dues espècies dependran fonamentalment de la població inicial de conills i de llops.

Si hi ha molts conills i pocs llops, aquests podran alimentar-se amb facilitat i aniran creixent, mentre que la població de conills s'aniran reduint fins un punt que n'hi haurà tan pocs que la població de llops hauran de competir entre ells per trobar alimentació. Quan la població de llops hagi minvat suficientment, els conills seran menys atacats i per tant els que sobrevisquin es podran reproduir i créixer. El resultat és una situació oscil·latòria com la que mostra la figura que encapçala el text. S'ha iniciat l'exemple plantejant una competència entre llops i conills, però si ens hi fixem detingudament, per comprendre quines característiques dels dos animals aniran millorant amb el temps, descobrim que els conills competeixen entre ells per aconseguir córrer més de pressa que els seus companys per escapar del llop i els llops competeixen amb els seus companys per arribar primer a caçar un conill. De fet el risc de cada conill és més gran ja que si és caçat ja està perdut, en canvi els llops tenen una altra oportunitat. Aquest segon fet ha estat plantejat per Dawkins i Krebs que el van anomenar "principi de la vida i el menjar"

Per als que els hi agraden les matemàtiques:

Es tracta d'un sistema d'equacions diferencials:

$dx/dt = -px+qxy$; $dy/dt = ry-sxy$; el punt d'equilibri és $(x= p/q, y= r/s)$.

$x =$ llops; $y=$ conills ; $-p=$ taxa de mortalitat dels llops; $r=$ taxa de natalitat dels conills

xy fa referència a les trobades possibles entre els llops i els conills la qual cosa depèn del nombre de cada un que hi hagi en cada moment del temps: $q=$ taxa de consum de conills; $s=$ taxa que expressa la mort dels conills al ser devorats.

El primer sumand de les dues equacions té com a solució –la integral—una funció exponencial com la del tipus d'interès explicada al parlar de Malthus. En el cas dels llops l'exponent es negatiu i en canvi en el cas dels conills és positiu.

Darwin i la cultura

***Quan Darwin parla del desenvolupament de les capacitats intel·lectuals i morals considera que almenys en part són un producte de la invenció humana, de l'aprenentatge i de la imitació.*²¹**

Com explica molt bé en el mateix pròleg de l'”*L'origen de l'Home*”, Darwin és conscient de la necessitat de complementar herència biològica amb l'herència cultural i no fa escarafalls de plantejar l'evolució de les societats humanes a partir de la transmissió cultural. En aquest mateix llibre parla dels *hàbits* que es reforcen a través de l'ús i el desús, la qual cosa va ser interpretada per alguns com una aproximació a les porpostes lamarkianas²². Tanmateix Darwin no va considerar que els hàbits adquirits es poguessin transmetre per herència biològica. En un altre moment del llibre es mostra plenament conscient que l'evolució cultural pot generar situacions contra adaptatives en el sentit biològic del terme, quan diu “*Hi ha raons per creure que la vacunació ha conservat la vida a mils de persones que, degut a una constitució feble haurien sucumbit anteriorment a la verola. D'aquesta manera els membres febles de les societats civilitzades propaguen la seva estirp*”²³ Alguns han considerat aquestes paraules com racistes, però tot i que és veritat que Darwin estava influït pel context de la societat victoriana, el text citat té un to completament descriptiu i en el mateix llibre Darwin argumenta de manera fonamentada la igualtat de l'espècie humana en els trets fonamentals. Potser un dels textos il·lustratius sobre la diferència entre l'evolució genètica i la cultural és el següent::

*“Les nacions occidentals d'Europa, que en l'actualitat sobrepassen de manera immesurable els seus antics progenitors salvatges i se situen al cim de la civilització, deuen poc de la seva superioritat a l'herència –genètica—directa dels antics grecs, encara que deuen molt a les obres escrites d'aquell poble meravellós”.*²⁴

²¹ Veure el pròleg del’ *Origen de l' Hombre*” de Darwin.

²² Lamark pensava que les dificultats de l'entorn eren les causes directes dels canvis en els trets dels organismes, expressat amb la frase “herència de les característiques adquirides” i l'exemple del coll de la girafa”. La posició ortodoxa de la “nova síntesis” a l'actualitat considera que “els caràcters adquirits no s'hereten però l'ambient pot afectar l'expressió dels gens. (Serra. Lluís (2005) La teoria sintètica de l'evolució. Síntesi del Darwinisme amb la genètica mendeliana”. *Omnis cel.lulam* p.63-67. Tal com s'indica en altres moments sembla que tot plegat podria anar més enllà.

²³ Darwin: El origen del... p. XXIV

²⁴ Op. Cit. P.XXIII

Darwin i la selecció de grup

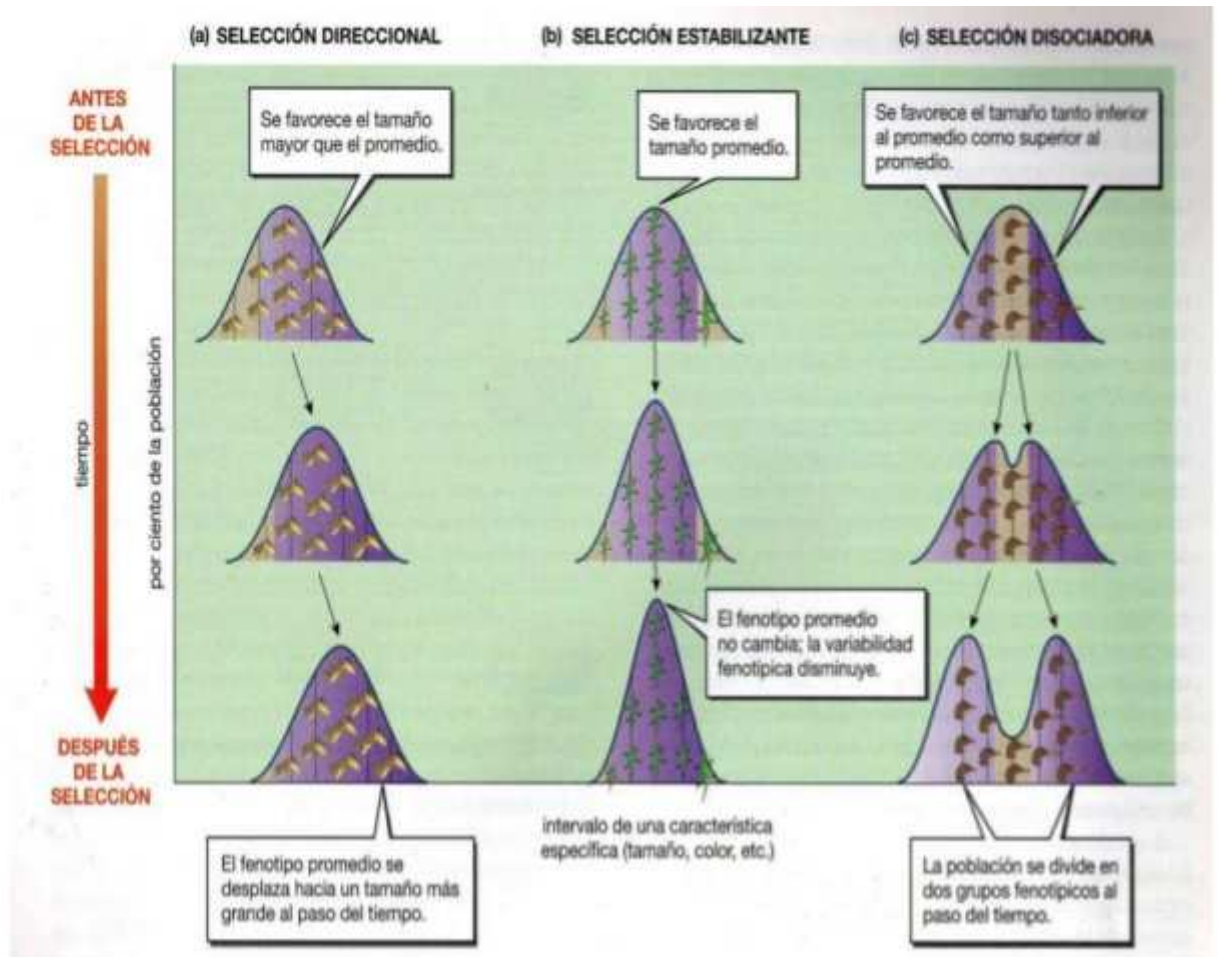
Darwin proposa la selecció de grup com un procés normal de selecció natural necessari per entendre algunes de les qualitats morals dels humans com ara l'altruisme.

Com es veurà més detalladament en pàgines posteriors el tema de la selecció de grup, ha estat molt polèmic i encara ho és entre molts biòlegs actuals. Atès que és una qüestió molt rellevant per aquest text val la pena fer constar des del començament que el pare de la teoria de l'evolució ja el va posar sobre la taula el 1871 com ho expressa en el text: "*Convé no oblidar que encara que un alt nivell de moralitat no dóna cap avantatge o molt poca a un individu i els seus fills sobre els altres individus de la mateixa tribu...un creixement del nombre d'individus amb nivells elevats de moralitat pot donar una avantatge immensa a una tribu en relació a una altre*". R&B (1978) pp.130.

Aquest text ja suggereix les contradiccions de la natura humana, que seran més desenvolupades per E.O. Wilson: d'una banda l'impuls egoista per la supervivència pròpia i de l'altre la solidaritat amb el grup, que en últim terme també facilita la supervivència de la majoria

FIGURA 1.4 TIPUS DE SELECCIÓ²⁵

La figura següent ens mostra els tres tipus de selecció fonamentals. La corba normal indica una població en equilibri. En el nivell biològic l'aparició d'una mutació desestabilitza la població ja que si és més adaptativa es va escampant al llarg del temps en la població fins que troba un nou equilibri, que teòricament és dona quan tota la població l'ha assolida²⁶.



1. Selecció direccional

Quan les pressions de selecció afavoreixen els organismes amb el caràcter que s'acosta a un dels extrems perquè són més adaptatius en aquell entorn, com passa en l'exemple en el cas dels individus més grans, en les properes generacions la mitjana de la corba s'anirà acostant cap a la dreta, de manera que s'anirà situant, en el punt que sigui l'òptim teòric d'adaptació.

2. Selecció estabilitzadora

Les variacions pròximes a la mitjana són afavorides per la selecció natural mentre que les divergències extremes són eliminades per això després del procés de selecció, la corba es torna més alta punxeguda. Un cop feta la selecció la població es manté en estat d'equilibri amb una mitjana més alta i una divisió típica més petita, en aquest sentit no es promou l'evolució fins que és produïx algun canvi genètic.

²⁵ Dibuix extret de la xarxa.

²⁶ Com s'indica en el text aquest aspecte és més complicat en la pràctica.

3. Selecció diversificadora

Els processos de mutació en la població són constants, per tant les pressions de mutació augmenten la variància de la distribució. En el cas de que els canvis en l'entorn beneficiïn als individus més grans i els més petits com en l'exemple, la corba es va convertint en bimodal. Això permet que en el cas de canvis en l'entorn els organismes s'adaptin a diferents nínxols ecològics fins al punt que a còpia de temps es poden generar dues espècies diferents.

Si es mira com exemple, el dibuix de la selecció estabilitzadora, es pot entendre què vol dir la fórmula. La corba, abans de la selecció, té una variància més gran que la que mostra la corba després de la selecció, ja que amb pas del temps s'han eliminat els organismes amb els seus genotips que corresponen a les puntes de la dreta i de l'esquerra de la corba. El trencament de l'equilibri es produeix quan apareixen noves mutacions que, si són negatives fan que vagin desapareixent els organismes que les posseeixen. En canvi si milloren l'adaptació tendeixen a generalitzar-se en tota la població a còpia de generacions.

Una de les polèmiques inicials del darwinisme es va produir a partir de recuperar els descobriments de Mendel segons els quals les variants dels gens eren discretes, mentre que les distribucions dels caràcters en les poblacions formaven corbes normals de caràcters quantitius. Aquest conflicte es va resoldre a partir de constatar que de fet no eren contradictoris. La transmissió d'al·lels era qualitativa però al seu torn al parlar de poblacions grans és donen diferències quantitatives entre els fenotips perquè la selecció natural actua sobre el conjunt de trets dels organismes on es produeixen diferents combinacions d'al·lels.

Pels que els hi agradin les matemàtiques

L'any 1930, R. A. Fisher va publicar el *"teorema fonamental de la selecció natural"* que descriu en llenguatge matemàtic la teoria de l'evolució proposada per Darwin. Aquest teorema es pot formular així:

"La taxa d'increment de l'eficàcia biològica d'una població és igual aproximadament a la variància genètica additiva existent en aquell moment a la població"

$(dMw/dt = Vaw)$

dMw (diferencial de la mitjana de w increment de la mitjana de l'adaptació d'una població.

dt = en cada moment del temps.

Vaw = Variància additiva²⁷ de l'adaptació.

²⁷ La variància genètica es divideix en tres: l'additiva relacionada amb la regressió lineal de freqüències gèniques, la variància genètica deguda a l'interacció entre els al·lels, i l'epístasi per la interacció entre gens diferents. En el cas que ens ocupa es refereix a la additiva.

LES BASES GENÈTIQUES DE L'EVOLUCIÓ

La variació i l'herència

Segons la teoria tradicional, consensuada en el que s'anomena la nova síntesis, l'evolució es defineix com un canvi en la freqüència dels gens d'una població a través de les generacions. Aquest canvi pot ser causat per diferents mecanismes, tals com la selecció natural, la mutació, la recombinació genètica, la migració y la deriva genètica.

Com ja s'ha indicat en la introducció, aquest apartat no pretén descriure amb detall quin són els processos que funcionen en la producció de varietat genètica, com funciona l'herència o el desenvolupament de l'organisme, sinó més aviat donar unes pinzellades que donin el les bases necessàries per poder seguir i entendre els objectius centrals del text sobre l'evolució cultural i les seves vinculacions amb l'evolució genètica.

Els gens són segments d'una llarga molècula anomenada ADN que està continguda en els cromosomes.

Mendel entre 1856 i 1863 va desentrellar els mecanismes de l'herència explicant en què consistia la variació genètica i com és produïa la transmissió dels caràcters a partir de l'acoblament sexual, però aquests coneixements van restar ocults fins a l'inici del segle XX.

Els biòlegs clàssics de la nova síntesis durant els anys trenta del segle passat²⁸ van resoldre el problema de com els caràcters derivats de variants genètiques qualitatives (al·lèls) s'expressaven amb diferències quantitatives en els fenotips gràcies a l'actuació de molts gens en un mateix caràcter i a més a més a l'exposició a diferents entorns.

Un altre problema que es presentà als genetistes seguidors de Darwin va ser com es podia compaginar la selecció natural que en principi genera més homogeneïtat, en els fenotips, atès que selecciona els individus més adaptats a l'entorn on viuen, amb la varietat constant d'espècies i d'individus en les diferents espècies. En un primer moment, es va demostrar que el pool genètic de les poblacions no era només el resultat dels al·lèls expressats sinó que hi havia molta més varietat soterrada en el conjunt de l'espècie que podia ser objecte de selecció amb el pas del temps. Amb aquests elements es va construir la nova síntesi darwinista que ha servit de paradigma dominant en la biologia fins avui.

²⁸ Entre els quals destaquen R.A. Fisher, S. Wright, i J.B.S. Haldane.

L'ADN d'un organisme és, doncs, on hi ha guardada tota la informació necessària per construir-lo i assegurar el seu funcionament posterior. Els gens són un fragment d'aquest ADN amb la funció de construir, en principi, una determinada proteïna com estructura material especialitzada que generarà els diferents òrgans del cos. Cada gen²⁹ disposa de dues variants que s'expressen amb petites diferències en el fenotip d'un organisme per tant són les que generen varietat tant en les característiques físiques com en els comportaments d'aquell individu. Aquests gens que codifiquen proteïnes són els que estan sotmesos a la selecció natural justament perquè els caràcters o els comportaments expressats són els que són filtrats per l'entorn en tant que uns són més adaptatius que els altres.

A continuació es descriuen els mecanismes reconeguts del canvi genètic i de l'herència:

La mutació genètica consisteix en l'aparició d'una variant genètica normalment per atzar en el codi, però altres vegades per la influència d'un agent extern com la contaminació nuclear o la radiació.

La mutació és el mecanisme fonamental de l'evolució de la vida ja que és el que produeix les variants genètiques de les quals depenen els altres processos.

La recombinació genètica es produeix durant la meiosis, a través de la qual els cromosomes intercanvien fragments de material genètic.

Aquest procés es produeix en tots els organismes que es reproduïxen sexualment quan s'inicia la divisió de les cèl·lules germinals que es converteixen en gàmetes. Els gàmetes només tenen un joc de cromosomes en lloc de dos habituals, Però cada joc dels 23 cromosomes ha sofert un procés de recombinació entre el material genètic rebut del seus progenitors, mare i pare. Això vol dir que els òvuls en les dones i els espermatozous en els homes són el resultat de la recombinació del material genètic del pare i la mare de cada progenitor.

L'aparellament sexual en la nova generació és el resultat d'un òvul concret i un espermatozou concret, la qual cosa fa que tots els embrions siguin únics i una mica diferents. En definitiva la varietat genètica, a més a més dels canvis genètics pròpiament dits,³⁰ es genera a través de la divisió cel·lular en la meiosis de cada

²⁹ A l'actualitat les definicions de gen són més complexes, però en el text s'opta per la més senzilla. En aquest sentit utilitzem *gen* per referir-nos als gens codificadors de proteïnes i interruptors, ADN regulador o gens reguladors per referir-nos als fragments de codi que fan aquesta funció, a vegades també anomenats "*promotors*".

³⁰ Fins fa poc es consideraven només les mutacions, però en el moment actual es té molt en compte la epigenètica com s'explica més endavant al parlar del desenvolupament.

organisme (recombinació) i a través de la reproducció sexual un cop es produeix la fecundació d'un òvul concret i un espermatozou concret (entrecreuament).

Aquesta dos processos, recombinació i entrecreuament ofereixen un ampli ventall d'oportunitats perquè funcioni la selecció natural.

Per comprendre bé la importància d'aquests dos processos a l'hora de proporcionar varietat a l'organisme per adaptar-se als canvis de l'entorn, cal tenir en compte que la selecció natural actua sobre totes les característiques del fenotip les quals no responen a una sola mutació, per exemple l'última que s'ha produït atzarosament, sinó a la reorganització del patrimoni genètic d'un organisme en concret. Els genotips són combinacions de gens la qual cosa comporta que la "utilitat" de cada nova mutació és posada a prova per la selecció natural en cooperació amb tots els altres gens i en definitiva amb tot el patrimoni genètic expressat per aquell organisme³¹. És a dir que encara que l'aspecte fonamental del canvi sigui la "mutació", la reproducció sexual i segurament l'epigenètica, amplia l'efecte del canvi produint organismes amb variants genètiques diferents els quals s'enfronten al filtre de la selecció natural en un entorn concret.³²

La deriva genètica és un procés que es dona quan una població petita d'organismes de la mateixa espècie és concentra en un entorn aïllat, atès que en aquesta situació la probabilitat de mutació i de recombinació d'uns gens o uns altres no és la mateixa, degut al problema de les mostres petites i, per tant, la selecció natural no actua de la mateixa manera.

Val a dir que la importància d'aquest fenomen, que s'anomena *deriva genètica*, és molt més limitada que les altres dos.

Si alguns individus *migren* d'una població a una altra és evident que el pool genètic de les poblacions afectades canviarà les freqüències dels seus gens i per tant s'aniran produint canvis en els fenotips resultants de les següents generacions.

La biologia del desenvolupament

L'ontogènia consisteix en la descripció del desenvolupament d'un organisme des del codi genètic (ADN) fins a les formes de l'organisme en els diferents

³¹ Fins i tot en el moment actual es diferencia la *selecció gènica* que passa en el context de la competència entre gens en el procés de recombinació, de la *selecció genètica* que es produeix a nivell dels organismes i es transmet a través dels gens.

³² Aquest aspecte està molt ben explicat a W. Schwoerbel (1986) *Evolución*, BCN, Salvat.

estadis de la vida, per tant, dóna compte de com es produeixen aquests canvis. Els gens construeixen les cèl·lules i els cossos³³

Els científics que treballaven en la morfologia dels organismes des de la embriologia³⁴ mai van estar molt còmodes amb el paradigma de la nova síntesi perquè d'una manera o altre veien que en procés de la morfogènesi hi havia aspectes que difícilment encaixaven amb la versió estricta de la selecció natural gradualista de la proposta oficial dels biòlegs evolucionistes, ja que la morfologia dels organismes podia estar determinada per altres factors més vinculats al mateix procés del desenvolupament de l'organisme, sense el filtre de la selecció natural. A l'actualitat la biologia del desenvolupament anomenada "evo-devo" ha recuperat el darwinisme tot i que ha aportat aspectes nous que també posen en qüestió alguns aspectes de la concepció tradicional com ara la relació entre el canvi genètic i el paper de l'entorn.

La nova biologia molecular complementa la "nova síntesis" a partir d'explicitar com es produeix la morfologia dels organismes.³⁵

Inicialment la mateixa definició de gen anava lligada a la codificació de les proteïnes les quals eren el fonament de l'estructura i el desenvolupament de l'organisme. Des d'una perspectiva vinculada a la genètica clàssica, Jacob i Monod, durant els anys seixantes, van descobrir que en la construcció dels organismes hi funcionaven dos tipus diferents de "gens", els codificadors de proteïnes i els reguladors o interruptors genètics que com el seu nom indica regulen els temps i els llocs on els gens codificadors s'expressen en l'organisme que s'està formant.

Figura 1.5. GENÈTICA DE POBLACIONS vs. EVOLUCIÓ I DESENVOLUPAMENT

1. Dues visions de la vida segons Tomás García Azconobieta

"Pot semblar sorprenent el fet que en el denominat" segle de la biologia encara no s'hagi aconseguit una definició de "vida" acceptada per tota la comunitat científica. La majoria de les propostes de definició es limiten a l'enumeració d'una sèrie de propietats (Umerez 1995, Bedau 1996). Aquest tipus de definicions, malgrat la seva disparitat, tracten d'integrar dos aspectes fonamentals de la vida: organització i evolució. Aquests dos aspectes, com diferents autors han posat de manifest (Maynard-Smith 1986,

³⁵ Henderson, M. (2010) 50 coses que hay que saber sobre genètica

2000, Pattee 1995, Kauffman 1993, generen dues vies d'investigació o dues formes de aproximar-se al estudi del vivent, dues visions de la vida:

D'una banda, tenim la que anomenarem visió externalista, que, contempla la vida fonamentalment com el resultat d'un procés evolutiu, la qual s'interessa per certes propietats de la mateixa lligades a aquest aspecte, com la seva capacitat replicadora, o l'aparença de disseny que es desprèn de la complexitat adaptativa de certes característiques dels organismes.

La visió internalista, en canvi, centra la seva atenció essencialment en l'organització dels sistemes biològics, entesa com la sèrie de processos causals que donen lloc a la forma orgànica "aquí i ara", i pren com a model processos com el desenvolupament, el metabolisme o l'autoorganització³⁶.

...

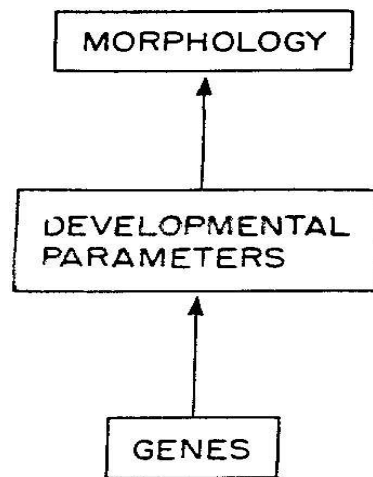
La taula següent resumeix segons García Azconobieta l'accent que cada una posa en alguns aspecte.

<i>VISIÓN EXTERNALISTA</i>	<i>VISIÓN INTERNALISTA</i>
<i>Atomisme</i>	<i>Holisme</i>
<i>Selecció Natural</i>	<i>Organització</i>
<i>Canvi de freqüències gèniques</i>	<i>Canvi fenotípic</i>
<i>Programa</i>	<i>Estructura dissipativa</i>
<i>Replicació</i>	<i>Reproducció</i>
<i>Informació</i>	<i>Organització</i>
<i>Mecànica</i>	<i>Dinàmica</i>
<i>Estructura</i>	<i>Procés</i>

Visió externalista

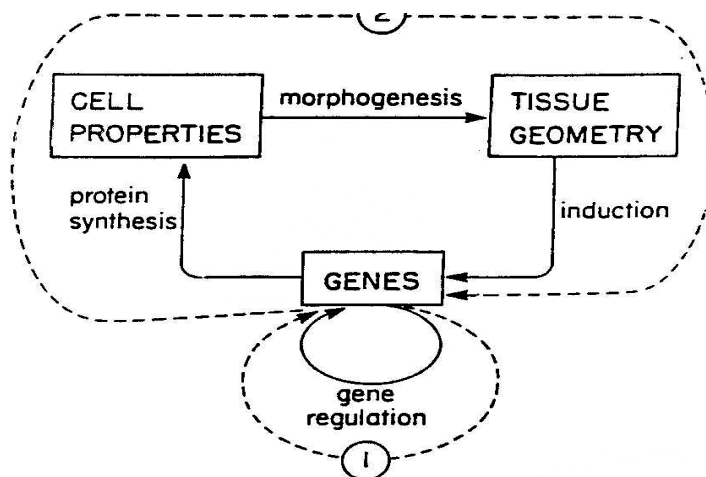
"L'esquema de sota mostra la interpretació del procés de desenvolupament prevalent en la concepció heretada del darwinisme, en la qual la relació genotip/fenotip és lineal, programada, i mínimament emergent".

³⁶ García Azconobieta, T. (2005) *Evolución, desarrollo y autoorganización. Un estudio sobre los principios filosóficos de la Evo-Devo*. Tesis Doctoral, WWW. P.10-11. Totes les referències del text són de la Tesis de García Arconobieta. Traducció de Josep M. Masjuan per aquest text.



Visió internalista

“ L’esquema de sota mostra la concepció que seria defensada tant per les posicions interaccionistes i internalistes, com per la pròpia evo-devo, Aquest corrent fa explícites les moltes interaccions entre els diferents components del procés i mostren el caràcter recursiu, no lineal i emergent del mateix (Presa de Alberch 1989), ”



2. Manuel Esteller i l'Epigenètica³⁷

A continuació transcrivim les respostes de Manuel Esteller a la periodista Milagros Pérez Oliva, sobre l'Epigenètica. En el text, l'epigenètica s'ha introduït com una part de les versions modernes dels internalistes que formen una disciplina que es diu Evolució i Desenvolupament (EVO_DEVO).

.....M.P.O., : Naixem amb una herència de gens decantada amb milions d'anys, però pot ser que tot canviï per una influència exterior. L'epigenètica és la clau d'allò que arribem a ser?

M.E.: Podríem dir que, si l'ADN és l'esquelet, l'epigènica és el vestit que el cobreix i està format per una sèrie de marcadors químics que tenen la funció de controlar-lo. La més coneguda és la metil·lació de l'ADN, un grup químic

³⁷ Milagros Pérez Oliva. Entrevista a Manel Esteller. Hem necessitat milions d'errors per arribar a ser el que som. *La maleta de Porbou* Edició ara.cat, Barcelona. Tardor 2015. Pp. 6-11. Publicat originàriament a La Maleta de Porbou 8 (gener-febrar, 2015)

molt senzill, format per carboni i hidrògen, però capaç d'activar o inhibir gens. La metil·lació explica perquè les dones tenen dos cromossomes X i els homes un cromosoma X i un altre Y. La inactivació d'un cromosoma X és una forma epigenètica pura de regular el sexe. La metil·lació és també molt important per silenciar el material genètic que no és nostre, però que ha entrat al nostre ADN en milions d'anys d'evolució.

.....

M.P.O: Algunes de les malalties que patim són conseqüència d'alteracions genètiques que en algun moment van ser un avantatge relatiu que ens va ajudar a sobreviure?

M.E.: Sí, n'hi ha diversos casos, però costa molt demostrar aquesta relació. Has de barrejar genètica molecular i poblacional. Les modificacions de l'ADN poden ser de l'àmbit genètic o epigenètic. En general, les mutacions per adaptar-se a alguna cosa costen més, a les nostres cèl·lules no els agrada mutar. Per això hem desenvolupat mecanismes per eliminar les que ho fan. Els canvis per adaptar-se són més fàcils en l'àmbit epigenètic. És més senzill desenvolupar un mecanisme per apagar o encendre un gen que no eliminar-lo, perquè en aquest cas, no es pot tornar enrere. Es podria dir que l'organisme prefereix mantenir el gen, per si canvien les condicions ambientals que provoquen la mutació. Primer ho prova. Quan ja sap que funciona bé, llavors el muta³⁸

A través d'un experiment van demostrar que en els eucariotes³⁹, l'ADN que codifica les proteïnes està interromput per seqüències que no són codificadores, tot i que també es troben a l'interior dels cromosomes. El conjunt de l'ADN que no codifica proteïnes s'havia anomenat fins fa ben poc "gens escombraries", però finalment s'han pogut descobrir les seves funcions, almenys d'una part d'ells.

A dia d'avui les recerques d'aquestes línies de treball s'anomenen *Evolució i Desenvolupament (EVO-DEVO)*, com a resultat de la fusió de l'embriologia amb la genètica molecular i són les que estan resolent el procés de la morfologia dels organismes.

Els gens que codifiquen proteïnes⁴⁰

La variació genètica no es refereix només a l'aparició de gens nous.

Un pas molt important ha estat la descoberta completa de l'ADN i l'explicitació de que els gens codificadors de proteïnes ocupen poc espai en l'ADN ja que el genoma

³⁸ La última frase sona a lamarkisme pur i dur. Potser és deguda a les ganes de fer-se entendre pel gran públic, tot i que l'epigenètica, si més no, s'apropa al lamarkisme almenys en alguns aspectes, de la mateixa manera que sembla que ho va fer Darwin en algunes parts "L'origen de l'Home".

³⁹ Les cèl·lules eucariotes són les que tenen un nucli diferenciat

⁴⁰ Per simplificar les coses utilitzem en el text la paraula gen per referir-nos als gens codificadors de proteïnes i la paraula reguladors o interruptors reguladors per les molècules no codificadores que tenen funcions de regulació.

també conté tires de molècules, la funció de les quals encara no queda totalment aclarida.

Quan es va iniciar l'estudi de tot el genoma humà es partia de la idea que els humans havien de tenir 100.000 gens codificadors de proteïnes però aquest nombre ha anat disminuint fins a l'últim càlcul que dóna la xifra de 21.500, els quals només usen el 2% de les lletres del genoma o sigui que el 98% del codi no es pot considerar gens estructurals dels organismes. Aquest nombre és molt semblant al del ratolí, la qual cosa ja indica que la complexitat biològica no s'explica només a partir dels gens.

Un altre aspecte sorprenent és que tots els animals complexes, des de la mosca de la fruita als humans comparteixen els mateixos gens codificadors que contribueixen a la formació del cos dels organismes, Un exemple important d'aquests gens s'anomenen "HOX", i són els que determinen l'estructura de les diferents parts del cos dels animals. Tot i que els ratolins tenen més gens "HOX" que les mosques i menys que els humans tots fan la mateixa funció. Això vol dir que des del punt de vista genètic hi ha moltes similituds estructurals entre les diferents espècies.

El 99% dels gens codificadors dels ximpanzés són idèntics als dels humans però la diferència és molt més gran en l'ADN que no codifica proteïnes. Una conseqüència d'aquestes aportacions és que les diferències entre els humans i els parents pròxims ximpanzés es deuen, no solament en les petites diferències en les seqüències de l'ADN codificador, sinó als patrons d'expressió gènica associats als interruptors.

Podria ser que el llenguatge humà depengués d'aquesta part, ja que el gen anomenat Foxp2 és justament un gen regulador capaç de posar en marxa un centenar d'altres gens que en conjunt fan possible el llenguatge parlat. Sense la reestructuració del cervell i de l'aparell fonador, no hauria aparegut el llenguatge simbòlic i, probablement sense la interacció social dels humans no hauria sorgit. A través d'aquests processos apareix la cultura simbòlica humana.

Els interruptors de l'ADN

L'ARN es fonamental en la regulació del genoma, atès que els gens presenten variacions en la seva estructura i també en el seu ordre de lectura. Per això l'activitat dels gens és pot modificar sense canviar la seva estructura.

Hi ha molts fragments de l'ADN, anomenat fins fa poc temps "escombraries", dels quals encara no es coneix la seva funció, però una bona part són responsables de la regulació de l'activitat dels gens, de manera que produeixen missatges químics que indiquen les parts del genoma que han d'estar actius i quan han d'estar

inactius. També s'ha descobert la gran quantitat de ARN que actua com a interruptor genètic⁴¹ o canviant l'ordre de lectura de l'ADN.

Això vol dir que entre l'organisme d'un ratolí i la d'un humà, per posar un exemple, funcionen molts gens iguals pel que fa a la codificació de les proteïnes necessàries per construir materialment l'organisme, però el que genera les diferències entre els dos animals són les funcions dels gens reguladors, els quals determinen el lloc on s'han de situar i el temps que ha de durar en el procés de la construcció dels òrgans corresponents i en el seu funcionament posterior.

En aquest sentit el genoma es pot comparar més aviat amb una recepta de cuina que amb un plànol d'arquitecte, ja que del funcionament dels seus elements en resulta un plat elaborat a partir de la interacció entre ells. Si el genoma funcionessin com el programa d'un robot, que solda les peces d'un cotxe, necessitaríem una quantitat de gens incalculable i l'eficàcia del sistema seria poc probable suposant que fos possible. S'ha pogut observar que un mateix gen mostra variants quan s'observa en les glàndules germinals de quan s'observa en l'òrgan que realitza la seva funció específica. A vegades només un gen pot ser el responsable d'una determinada malaltia, però altres vegades un interruptor genètic desencadena el funcionament de molts altres gens que es tradueixen en hormones i que canvien estructures fonamentals de l'organisme. Per exemple, el gen anomenat Sry, localitzat en el cromosoma Y dels mascles, fa d'interruptor i canvia els incipients ovaris del fetus en testicles i desenvolupa a partir de les hormones tota l'estructura masculina.

Els processos de regulació genètica són claus per al desenvolupament del metabolisme normal. Totes les cèl·lules d'un organisme tenen les instruccions genètiques per desenvolupar els teixits de l'organisme però els processos de regulació genètica determinen quines són les instruccions que s'executen en cada cas. Una relació molt expressiva és la que hi ha entre el nombre de gens codificadors i el nombre de proteïnes. En la concepció clàssica un gen codificava una proteïna però ara s'ha demostrat que hi ha moltes més proteïnes que gens, la qual cosa explica millor la complexitat dels organismes i la seva versatilitat. Fet i fet l'ADN anomenat "escombraries" té funcions molt importants.

La plasticitat genotípica.

⁴¹ M. Genderson, *50 cosas que hay que saber... op cit. p.198-202*

La plasticitat genotípica és la propietat d'una població per la que la variació de l'entorn port induir, per processos de desenvolupament, fenotips diferents d'un mateix genotip.

El biòlegs de la “nova síntesis” consideraven que *l'adaptació* biològica es referia a l'herència dels gens suposadament codificadors de proteïnes i el canvi fenotípic s'originava per les variacions a l'atzar d'un al·lel, que generalment era deleteri, però en alguns casos incrementaven l'eficàcia reproductiva i per això acabaven fixant-se en la població d'aquella espècie.

L'adaptabilitat, en canvi, es referia a les diferents respostes dels individus al seu entorn específic a partir de la *flexibilitat fenotípica*⁴² d'algunes característiques somàtiques, fisiològiques o comportamentals dels organismes individuals, les quals s'expliquen a partir del marge de variació, anomenat “norma de reacció” que ofereixen els gens codificadors que s'hereten per selecció natural clàssica.

Sempre s'ha reconegut que la constitució genètica de cada individu és única i per tant pot reaccionar a l'entorn de manera idiosincràtica gràcies a les seves capacitats d'adaptabilitat però les propostes actuals de la biologia del desenvolupament van una mica més enllà⁴³, tot i que avui per avui encara no s'ha assolit un consens total entre els professionals del ram.

L'epigenètica⁴⁴

Fenomen a través del qual les modificacions químiques en l'ADN i en la cromatina alteren l'expressió gènica, sense canviar el codi genètic.

Com hem s'ha pogut veure a través del text i de les notes el concepte d'epigenètica ha variat en el temps i encara avui no hi ha consens en el seu ús. En aquests apartat és utilitzat en el sentit més pròxim al lamarkisme atès que hi ha autors

⁴² La definició del requadre és de Moreno, J. (2008) *Los retos actuales del darwinismo Una teoría en crisis?* Madrid, Síntesis, p.350. De fet Moreno és un autor que no accepta res del lamarkisme, tot i que dóna solucions diferents al corrent principal de la “Nova síntesis”.

⁴³ Comunicat personal del Dr. Ramón Nogués (10-12-13 i 4-2-15) on explica detalladament la funció dels gens reguladors i com, si tenen efectes fenotípics, són objecte de la selecció natural. També fa constar les dificultats d'entendre els mecanismes concrets que actuen en cada cas, atès que la recerca en aquest camp està oberta. Adverteix finalment “...c) aquestes modificacions sovint es transmeten a la descendència, almenys en períodes curts. Com pots suposar aquest darrer punt apunta al lamarkisme (herència de modificacions adquirides) cosa que està alterant “perillosament” el panorama, no de l'evolució, però sí dels mecanismes que l'acompanyen”.

⁴⁴ En el context de la sociobiologia, disciplina pionera en els intents d'incorporar el món de la cultura en el paradigma darwinianà, E.O. Wilson ja va incorporar les aportacions de la incipient biologia del desenvolupament en les seves publicacions més recents. La seva definició de l'epigenètica és més ampla com es veu a sota ja que d'alguna manera inclou tot el que fa referència al desenvolupament dels individus, però tampoc accepta els elements lamarkians.

“L'epigenètica consisteix, segons Wilson, en l'estudi de la manera en què el codi genètic es trasllada a l'organisme i al seu comportament. Wilson, E.O (1999) .Conilience. La unidad del conocimiento. Barcelona, Círculo de lectores. P. 185 i ss.

actuals reconeguts que consideren explícitament que el genoma pot recordar, a partir de les experiències vitals dels individus i transmetre als descendents aquesta memòria. Cal entendre que no és refereixen a la memòria del cervell, sinó a la memòria genètica vinculada als interruptors⁴⁵.

D'alguna manera aquesta polèmica arrenca des del temps de Darwin a partir de Lamarck, i de les mateixes afirmacions de Darwin, que sense qüestionar directament la seva proposta sobre l'herència biològica i la selecció natural, obre la porta a la temàtica dels hàbits adquirits tot i que va considerar en aquell moment que estan vinculats més al que ara es diu plasticitat fenotípica que no pas als canvis genètics. Val a dir que Darwin va tenir una concepció errònia de l'herència mendeliana.

La nova Biologia del Desenvolupament recull les aportacions de biòlegs com Baldwin, Waddington entre altres, que consideren que els organismes disposen d'una gran quantitat de novetat evolutiva latent derivada de la seva adaptabilitat fenotípica. En aquest sentit, com afirma García Leal "la producció de fenotips viables no depèn' solament de la disponibilitat de mutacions genètiques apropiades, com creien els artífex de la síntesis, perquè la selecció té sempre a la seva disposició una àmplia gama de variants fenotípiques viables produïdes per rutes ontogèniques alternatives i respostes d'acomodació dels canvis a la resta del fenotip" . L'autor conclou l'apartat a la següent sentència esclaridora: "La selecció natural segueix sent l'arquitecte de l'adaptació"⁴⁶, atès que qualsevol canvi en el fenotip tant si es deu als gens estructurals com als interruptors genètics és objecte de la selecció natural.

Garcia Leal⁴⁷ ho expressa clarament quan afirma que la selecció natural opera amb fenotips modificats externament o que varien en funció de canvis en l'activitat dels elements reguladors, i no solament amb fenotips modificats per mutacions puntuals en els gens codificadors. A més a més considera que no hi ha res en aquestes idees que posi en tela de judici la centralitat de la selecció natural. Quan més s'incrementa el temps de cada generació, cas dels humans, més necessària es fa l'adquisició de mecanismes que incrementin *l'adaptabilitat* individual a base de la plasticitat genotípica que lògicament afecta al comportament Tan Garcia Leal com Moreno descarten qualsevol element que es pugui vincular a Lamarck. Altres autors com Henderson⁴⁸ i Bueno⁴⁹ ho veuen més proper.

⁴⁵ La definició que encapsala el text és de Henderson, M. *50 cosas que hay que saber sobre genética* Barcelona, Ariel, p. 211 i c. 47 pp. 194-195.

⁴⁶ García Leal: *El azar...* op cit. pàg.94-95

⁴⁷ García Leal, A. (2013) *El azar creador...* Cap. III p. 61 i ss.

⁴⁸ Henderson, (2012) M. *50 cosas que hay que saber...*

Quan es parla avui d'epigenètica es poden diferenciar dos aspectes, un de més general i l'altre específic. El primer fa referència a l'abast que pot tenir la influència de l'entorn en l'expressió o el silenci de determinats al·lels. Per alguns autors actuals aquest procés no afecta directament a les tesis centrals de la teoria darwinista⁵⁰. El segon aspecte rellevant, que afecta al nucli de l'herència biològica, és que els efectes epigenètics a vegades poden ser heretats per les generacions futures, almenys en les primeres generacions, la qual cosa pot fer que les variants dels gens codificadors que silencien certs interruptors siguin transmesos a les generacions futures fins a estabilitzar-se en la població.

Matt Ridley⁵¹ un divulgador científic, no sospitós de "culturalismes", remarca la importància de l'entorn cultural, a través de l'experiència, en l'expressió dels gens, en el text següent:

"La nova veritat que sorprèn, i que aflora del genoma humà és que els animals evolucionen adaptant els *termòstats*, situats a l'exterior dels gens pròpiament dits, permetent-los que parts diferents dels seus cossos es desenvolupin durant més temps, la qual cosa té profundes conseqüències en el debat "*naturalesa/entorn*". Podem estimular l'expressió d'un gen, el producte del qual pot estimular l'expressió d'un altre gen, el producte del qual pot suprimir l'expressió d'un tercer i així successivament. I just en mig d'aquesta petita cadena podem *intercalar els efectes de l'experiència*. Quelcom extern com l'educació, l'alimentació, una baralla o un amor correspost, per exemple, pot influir en un dels termòstats. De repent l'entorn pot començar a expressar-se a través de la naturalesa". (Ridley, 2004 p. 49)⁵²....

La epigenètica afirma que el genoma pot recordar les experiències que viuen els individus en el seu entorn. Els efectes epigenètics actuen sobre les cèl·lules adultes dels humans, desactivant gens o ajustant la seva activitat, i, com ja s'ha dit, sovint no s'hereten per part dels descendents. Tot i això, alguns d'aquestes efectes també poden actuar sobre els gàmetes i per tant ser transmesos als descendents. Fins ara s'ha identificat que alguns d'aquests canvis es produeixen a través de la metil·lació⁵³, que funciona com a un marcador d'alguns al·lels, fent que no

⁴⁹ Bueno D. (2010) L'enigma de la llibertat. Bromera, PUV.

⁵⁰ Com veurem més endavant molts autors han considerat que la coevolució entre els gens i la cultura sempre depenia de l'aprofitament d'una mutació atzarosa que en aquell entorn era més eficaç biològicament. La nova biologia del desenvolupament ha qüestionat profundament aquesta assumpció.

⁵¹ M. Ridley (2004). *Qué nos hace humanos*. Madrid, Taurus, p.42 i ss.

⁵² Cal dir que un altre element important que s'ha constatat és que en els "gens escombraries" s'hi troven moltes variacions entre els individus en el nombre de còpies de fragments del codi. L'anàlisi d'aquest fenomen en estudi queda lluny d'aquest text.

⁵³ Metil·lació: Procés a través del qual l'ADN experimenta una modificació química que sovint s'associa al silenciament d'un gen. És important en l'epigenètica i en el procés d'imprimació, procés que fa referència a la influència diferent del pare i la mare en els processos de metil·lació de determinats gens.

s'expressin, o bé quan es produeixen modificacions en l'estructura de la cromatina que afecten a les histones que són la base cel·lular de l'estructura de l'organisme.

La recerca epigenètica és molt important en el terreny de la medicina, atès que permet amb més facilitat actuar sobre les substàncies químiques que afecten interruptors reguladors.

Per tant la cultura també guia la naturalesa al modificar la forma que els gens actuen sobre el cos en resposta a factors ambientals.

David Bueno⁵⁴, explica com la recerca recent ha mostrat com l'entorn, incloent la interacció entre els organismes de la mateixa espècie pot afectar de forma estable l'expressió dels gens. Un exemple concret mostra com les cries de rates que han estat privades de l'atenció de les seves mares mostrem, quan són grans, un nivell molt més elevat d'ansietat. Aquest comportament està relacionat amb la metilació o l'acetilació del cervell, fet i fet a partir de l'addicció d'unes determinades molècules a les proteïnes que fan de bastida al DNA.

M. Pembrey,⁵⁵ especialista en la influència de l'alimentació en l'esperança de vida afirma que "Estem canviant el nostre concepte de l'herència. En el desenvolupament de la vida normal no podem separar els gens dels efectes de l'entorn atès que estan entrelligats".

A continuació es transcriuen alguns exemples que poden ajudar a comprendre el contingut del text.

Exemples

1. A Holanda es va produir el 1944 una epidèmia de fam durant l'ocupació nazi; 20.000 ciutadans van morir de malnutrició. Els fills de les mares que estaven prenyades durant aquest període, van tenir problemes de salut. Fins i tot els nets d'aquestes dones van tenir més probabilitats de ser més petits del compte al néixer.
2. Moshe Szyf (2008), va estudiar el cervell de 13 homes suïcides i va descobrir que encara que les seqüències genètiques eren normals, la programació epigenètica era diferent dels homes que havien mort per altres causes. Es va poder comprovar que tots els suïcides avaluats en aquest estudi havien sofert maltractaments en la seva infantesa.

⁵⁴ D. Bueno (2010), *L'enigma de la llibertat. Una perspectiva biològica i evolutiva de la llibertat humana*. València. Bromera. pp.107 i ss. L'autor defineix l'epigenoma com el conjunt de modificacions químiques de l'ADN i de les histones acompanyants que contribueixen a la regulació de l'activitat gènica sense alterar el missatge que contenen, les quals depenen en part de factors ambientals.

⁵⁵ Citat per Mark Genderson, 50 coses.... op. Cit. p.47.

3. L'alimentació de les mares de ratolins influeix en el color del pèl dels descendents, perquè transforma la metil·litació dels gens. No sempre aquest tret no s'hereta en els seus descendents però a vegades sí.
4. L'epigenètica té efectes importants sobre el càncer. Hi ha productes químics que són cancerígens perquè, a pesar de no ser mutàgens alteren el genoma. Aquests agents poden actuar silenciament els gens de supressió tumoral, és a dir els que podrien defensar l'organisme de l'invasió de cèl·lules cancerígenes.

CONCLUSIONS I DISCUSSIÓ

"La *selecció natural* decideix entre el que s'adapta a la incertesa de l'entorn reduint la seva dependència d'aquesta incertesa modificant la seva capacitat d'anticipació, la seva mobilitat, la seva tecnologia o el seu impacte ambiental, o fins i tot si no queda altra alternativa canviant la seva identitat creant associacions, és a dir, individualitats noves amb els individus antics".⁵⁶ (A.831)

1. L'anàlisi dels canvis fenotípics dels humans, els utensilis, eines i altres productes culturals que es poden trobar a prop de les seves restes, documentats pels paleontòlegs donen una visió il·lustrativa del procés de l'evolució natural i dels inicis de l'evolució cultural.
2. Darwin planteja la selecció natural gradual com el mecanisme fonamental per entendre l'evolució de les espècies. Seguint les pistes de Malthus, introdueix l'escassetat de recursos i el possible creixement de la població, per arribar al concepte de lluita per la vida i, com a conseqüència, la selecció natural dels més adaptats en aquell entorn concret, en tant que seran els més capaços de sobreviure i de tenir més descendència.
3. Darwin va escriure sense conèixer la teoria de l'herència de Mendel, però va fer una hipòtesi de com es podria entendre l'herència genètica que s'ha

⁵⁶ Wagensberg, (2012) *Más árboles que ramas*. Barcelona: Tusquets p.195

demonstrat falsa pel que fa al concepte de "gen". Tot i considerar que la transmissió no podia ser d'altre manera que a través de la reproducció biològica individual, sexual o no, la qual cosa és certa, no es va tancar en banda pel que fa a la possibilitat de la influència de l'entorn en alguns casos com els hàbits apresos per repetició, que fins i tot es podien heretar, acostant-se a les propostes de Lamarck referents a l'herència dels caràcters adquirits. Tampoc va rebutjar la selecció de grup com un element necessari per entendre la importància de la guerra entre els humans.

4. La genètica és la clau per comprendre els mecanismes que estan a la base de l'evolució quan els organismes interaccionen amb els canvis de l'entorn físic i biòtic. Les aportacions experimentals de Mendel i els seus successors han anat donant explicacions imprescindibles per entendre científicament l'evolució
5. Darrerament, ha augmentat molt la recerca sobre les funcions dels gens estructurals que fabriquen proteïnes i dels gens reguladors. Els primers han estat molt conservats en totes les espècies tot i haver sofert petites modificacions, utilitzant una analogia els podríem anomenar conservadors, en canvi els gens reguladors que no fabriquen proteïnes, són els que causen l'expressió genètica i per tant afecten també a les variacions entre les espècies i també a les diferències entre els individus de la mateixa espècie. En aquest context la influència de l'entorn no es limita a fer impossible la supervivència sense canvis atzarosos dels gens que fabriquen proteïnes, sinó que l'entorn influeix en el silenciament o l'expressió de determinats al·lells a través de processos químics que en alguns casos es poden heretar biològicament, el que s'ha anomenat

epigènesi. En tant que els canvis epigenètics afectin al fenotip també estan sotmesos a la selecció natural⁵⁷.

6. Voldria ressaltar que per plantejar de manera adequada la relació entre la biologia i la cultura, s'ha de tenir en compte l'epigènesi. És a dir com els gens són traslladats als organismes i afecten el comportament concret dels mateixos, i com l'entorn pot afectar aquest procés fins a les profunditats de l'expressió genètica. Aquest plantejament posa en qüestió tant el determinisme genètic com el cultural i necessàriament ha de qüestionar alguns dels prejudicis de les ciències socials mantinguts fins avui. Val a dir que l'estudi de l'epigenètica està més aviat en els inicis per part dels biòlegs i per tant l'abast d'aquests canvis en l'ADN regulador i quin és la influència de l'entorn natural i social per produir-los està a les beceroles.

7. Sense saber com s'anirà concretant la relació entre genètica i l'epigenètica, és a dir entre la funció dels gens que fabriquen proteïnes i els gens reguladors, em sembla una aportació molt suggerent la que fa E.O Wilson al encunyar el concepte "d'aprenentatge preparat" perquè ofereix una idea sòlida que facilita la comprensió de la relació entre la biologia i la cultura, almenys en la direcció dels gens cap a la cultura la qual cosa pot ajudar a desenvolupar recerques en les disciplines de ciències socials des del moment actual. A partir d'aquesta idea, m'arrisco a fer la hipòtesi de diferenciar dos tipus d'evolució cultural, una vinculada a la curiositat i a la

⁵⁷ August Weismann contemporani de Darwin i un dels primers darwinistes convençuts va postular la impossibilitat de transmissió hereditària entre el plasma somàtic i el germinal, la qual cosa s'ha confirmat després en certa manera quan Francis Crick va expressar com a dogma central de la biologia que "la informació genètica es desplaça a través d'un sistema unidireccional. (citada per M. Henderson op.cit. p.43).

De tota manera Garcia Leal considera que el mateix Darwin, tot i la seva concepció equivocada del procés de l'herència, es va avançar dient que les condicions de vida o l'entorn en general—l'ús i el desús-- podien afectar a l'expressió de trets fenotípics no a la transmissió genètica, per tant no es va apuntar al lamarisme sinó que va intuir d'alguna manera la plasticitat fenotípica que ara se'n diu l'expressió genètica. (citada per Garcia Leal, op. cit. p.86. Fet i fet alguns autors actuals han traspasat el tabú de la barrera genètica estricta com ara Jablonka, E. & Lamb, J. The changing concept of Epigenetics. *Ann.N.Y. Acad. Sci.* 981:82-96(2002)*New York Academy of Sciences*

necessitat de resoldre problemes pràctics a partir de la tècnica i l'altre vinculada a instints relacionats amb les relacions socials. Podríem suposar que la primera pot generar una evolució cultural més autònoma de la genètica a partir l'adquisició de la intel·ligència i el llenguatge, mentre que la segona, tot i proporcionar variants culturals pròpies de cada comunitat humana, manté unes bases molt constants lligades l'estructura profunda de les nostres necessitats de viure formant grups més o menys grans.

8. Per últim vull fer notar que en text han aparegut tres tipus causals dels quatre que cal tenir en compte quan es volen entendre els processos evolucionaris segons Timbergen⁵⁸. Laland⁵⁹, ens ofereix quatre exemples que fan de bon recordar i ens permeten aplicar-los a altres situacions que apareixeran posteriorment. Adjuntem a l'apèndix d'aquest capítol una taula amb quatre caselles que dóna compte dels quatre tipus de causalitat i a sota els quatre exemples citats.

APÈNDIX DEL CAPÍTOL

Hi ha dos tipus de processos causals i cadascun té dues categories. Els dos primers són causes remotes evolucionaries, és a dir que expliquen els canvis evolutius. Els dos últims són causes pròximes que funcionen durant la vida d'un organisme i condicionen el seu comportament.

Els quatre models de causalitat de Timbergen

PREGUNTES DIFERENTS	DIFERENTS OBJECTES D'EXPLICACIÓ	
QUATRE ÀRES DE BIOLOGIA.	DESENVOLUPAMENT/ HISTÒRIA Explicació de les formes corrents en termes de seqüència.	UNA SOLA FORMA Explicació de la forma d'una espècie.
PRÒXIMA Explica com els organismes treballen descrivint la seva	ONTOGÈNIA (1) Descripció de com un organisme es desenvolupa, des del codi	MECANISMES (2) Descripció de l'estructura d'un organismes i com funcionen els

⁵⁸ Timbergen, N, (1963) On the aims and methods of ethology. *Zeitschrift fur Tierspsychologie*, 1963 20: 410-463

⁵⁹ Laland, Kelvin N.(1993) The mathematical modeling of human culture and its implicatios for psychology and human sciences. *British Journal of Psychology*, 84, 145-169.

estructura i els mecanismes i les seves ontogènies.	del ADN fins a les formes dels diferents estadis de la vida. <i>Explicacions de desenvolupament.</i> A partir dels canvis seqüencials en la vida dels individus	mecanismes. <i>Explicacions per mecanismes</i> Com són les estructures d'un organisme i com funcionen.
EVOLUCIONÀRIA Explica per què els organismes són com són descrivint com la selecció va fer les formes corrents i la seves filogènies	FILOGÈNIA (3) Descripció de la història d'una espècie reconstruïda a partir dels fòssils dels seus precursors i de les evidències de l'ADN <i>Explicacions filogenètiques</i> A través dels canvis seqüencials de les espècies a través del temps	ADAPTACIÓ (4) Explicació de les característiques d'una espècie a partir de les que donen una avantatge selectiva <i>Explicació evolucionària</i> Per què un organisme és com és

Els quatre exemples de Laland.

Causes remotes evolucionaries:

1. *Filogenètiques*: Per què entre els humans la cura del fills és més o menys compartida per la mare i el pare i en canvi en els altres primats els mascles rarament hi col·laboren.
2. *Mecanismes adaptatius* ⁶⁰Per què la lactància materna ha estat afavorida per la selecció natural.

Causes pròximes comportamentals

3. *Ontogèniques* Com les formes de cura maternal canvien al llarg de la vida d'una persona
4. *Mecanismes comportamentals* Com els mecanismes hormonals i les conductes del nadó estimulen la lactància de la mare,