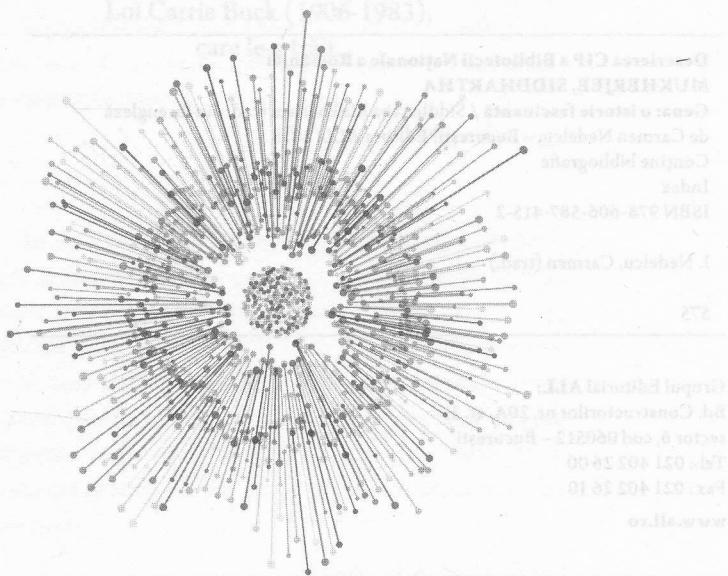


SIDDHARTHA MUKHERJEE

# GENA

În Cărțile Buck (1981).



## O ISTORIE FASCINANTĂ

Traducere din limba engleză de  
Carmen Nedelcu

ALL

# Cuprins

Prolog: Familii	13
Partea întâi: „Ştiinţa-lipsă a eredităţii“ 1865-1935	27
Partea a doua: „În suma părŃilor există numai părŃile“ 1930-1970	93
Partea a treia: „Visurile geneticienilor“ 1970-2001	197
Partea a patra: „Adevărătul obiect de studiu al omenirii este omul“ 1970-2005	245
Partea a cincea: Prin oglindă 2001-2005	313
Partea a şasea: Post-genom 2015-...	395
Epilog: <i>Bheda, Abheda</i>	457
MulŃumiri	467
Glosar	469
Tabel cronologic	472
Note	475
Bibliografie selectivă	517
Index	521
Despre autor	557
Credite pentru imagini	559

# „Grădina imprejuruită”

## PARTEA ÎNTÂI

### „ȘTIINȚA-LIPSĂ A EREDITĂȚII”

Descoperirea și redescoperirea genelor  
(1865-1935)



Le începus, mănăstirea avea una mare călugăriță din ordinul Sfântului Augustin închinată domine - dumă cum se placea adesea să se poarte în haină - în comună multă vîrstă și cu o fizică frumoasă, de părul cărăușat de pietre, aflată pe vîrful unui deal, unde se numea crucea lui medievală Iosep (Ioseph la cehă, Brune în germană). Timp de patru secole, orașul s-a dezvoltat în paralel mănăstirii, cibăind pe penitentiale și la binecuvântarea sa (cf. IV/107). Amplă moacoasă ale terenelor și poftăilor de la poale. Dar călugării au ieșit din grădiniile lor și în curtea Iosef al II-lea în 1774. Zona din centrul orașului, unde locuiau ei, era atunci prea valoroasă pentru bogați, decorați, etc., împăratul, în călătorii făcute expediționări o clădire săracină, aflată la baza dealului din Orășel Vechi. Porunca imperială era cu atât mai jignitoare ca călugării fusaseră nevoiți să se mută într-o fostă mănăstire de măcel. Începerile ar fi cu nicioșul vag animal de moară și, iar păstorițele din jur erau năpădite de iacăi, teufuri și burnieni. Singurul lucru îmbucurător în privința acestor clădiri din secolul 14, reșe ca o ghetearie și aspiră ca o închisoare, era prezența unei grădini dreptunghiulare, cu copaci umbrăosi, trepte de piatră și o căie lungă pe care călugării se puneaau plumbă și medita în sohradine.

Călugării au facut tot posibilul pentru a-și întări mureta nouă camin, Biblioteca, situată la etajul doi, a fost restaurată. Alături s-a amenajat și o cameră de studiu foarte frumoasă cu mese de citit din lemn de pin, câteva lămpi și o colecție - mereu în creștere - de cartepe vechi de chirurgie, incluzând cele mai recente lucrări de istorie naturală, geologie, astronomie (din fericiere, călugării din Ordinul Sfântului Augustin nu vedean niciodată fel de conflict religios între știință și religie, din contrivâră, era abordată sunta ca pe fapă o marturie a lucrașii și ordinitii euronezelelor în lume).

A fost săpată o pivniță de vinuri și chiar deasupra ei s-a construit o modestă sală de mese – refectoriul. Pentru călugări, la etajul al doilea existau chilii înzestrate cu rudimentare obiecte de mobilier din lemn.

În octombrie 1843, un Tânăr din Silezia, provenit dintr-o familie de țărani germani, a venit să locuiască la mănăstire. Era un bărbat scund, cu o față serioasă, miop și inclinat spre obezitate. Nu îl prea interesa viața spirituală, dar era un tip foarte curios, extrem de îndemânat și un grădinar înnăscut. Mănăstirea i-a acordat adăpost și un loc în care să citească și să învețe. A fost primit în cinul călugăresc pe 6 august 1847. Numele lui de botez era Johann, dar călugării i-l au schimbat în Gregor Johann Mendel.

Pentru Tânărul călugăr, viața la mănăstire s-a așezat într-o rutină cu totul predictibilă. În 1845, ca parte a educației sale monastice, Mendel a urmat cursuri de teologie, istorie și științe naturale la Colegiul Teologic din Brno. Tumultul anului 1848, revoluțiile săngeroase care au măturat cu furie Danemarca, Germania, Franța și Austria și au adus răsturnări sociale, politice și religioase însemnante au trecut pe lângă el ca un tunet îndepărtat. Nimic din primii ani ai lui Mendel la mănăstire nu prevestea omul de știință revoluționar de mai târziu. Era disciplinat, politicos, supus – un om cu tabieturi, printre alții oameni cu tabieturi. Singura sfidare a autorității pe care și-o permitea era refuzul său ocazional de a purta în clasă șapca de școlar. Dar, când era admonestat de superiori, se supunea și-i așeza șapca pe cap.

În vara anului 1848, Mendel a fost trimis ca preot la o parohie din Brno. Prezența lui aici a fost, după toate marturii, una jalnică. „Cuprins de o timiditate excesivă”, aşa cum îl descria abatele mănăstirii, Mendel nu știa o boabă de cehă (limbă vorbită de majoritatea enoriașilor săi), nu avea nimic inspirațional în el, ca preot, și era mult prea nervos pentru a suporta povara emoțională pe care comuniunea cu niște oameni foarte săraci o implica. Mai târziu, spre sfârșitul aceluiași an, el a născocit un plan pentru a scăpa din această postură nedorită: a solicitat funcția de profesor de matematică, științe naturale și greacă elementară la Colegiul din Znaim. După ce fostul său abate de la mănăstire a intervenit pentru el, Mendel a fost ales – deși i s-a pus o condiție. Știind că nu fusese niciodată instruit să predea, reprezentanții Colegiului i-au cerut să se prezinte la examenul oficial la materia Științe naturale, pe care îl dădeau toți profesorii de liceu.

Spre sfârșitul primăverii anului 1850, Mendel a dat examenul scris la Brno. El a picat – având o prestație de-a dreptul catastrofală la partea de geologie („aridă, groaie și confuză” caracteriza unul dintre examinatori lucrarea lui). Pe 20 iulie, în toiul unui cumplit val de caniculă, el a mers de la Brno la Viena pentru a da și examenul oral. Pe 16 august s-a prezentat în fața examinatorilor, la testul de Științe naturale. De astă dată, prezentarea lui a fost și mai groaznică, dar în privința biologiei. Când i s-a cerut să descrie și să clasifice mamiferele, el a înșirat un sistem de taxonomie incomplet și absurd – omițând unele categorii, inventându-le pe altele, amestecând cangurii cu castorii și porcii cu elefanții. „Candidatul pare să nu cunoască absolut

## „GRĂDINA ÎMPREJMUITĂ“

nimic despre terminologia tehnică, denumind toate animalele în germană colocvi-ală și evitând nomenclatura „științifică“, comentă unul dintre examinatori. Normal, candidatul a picat din nou.

Tot în august, Mendel s-a întors la Brno cu rezultatele de la examene. Verdictul examinatorilor fusese clar: dacă Mendel voia să predea, trebuia să se perfecționeze în domeniul Științelor naturii, să atingă un nivel mult mai avansat decât îi permtea biblioteca mănăstirii sau grădina împrejmuită a acesteia. Mendel s-a înscris la Universitatea din Viena pentru a obține o diplomă în Științe naturale. Mănăstirea a intervenit, prin scrisori și rugăminți; Mendel a fost acceptat.

În iarna lui 1851, Mendel s-a urcat în tren, plecând la Viena pentru a urma cursuri universitare. Aici aveau să înceapă problemele lui Mendel cu biologia și problemele biologiei cu Mendel.

### ⊕

Trenul de noapte de la Brno la Viena străbate, iarna, un peisaj deosebit de mohotrât. Ogoarele și podgoriile sunt îngropate sub zăpadă, canalele înghețate par niște vene albăstrui, iar casele ce răsar din loc în loc sunt acoperite de întunericul de nepătruns al Europei Centrale. Râul Thaya traversează această zonă înghețată, plină de sloiuri. Ici-colo, se văd și insulițe pe Dunăre. E o distanță nu mai mare de o sută și cincizeci de kilometri, străbătută, pe vremea lui Mendel, în vreo patru ore. Dar, în dimineața sosirii sale, lui Mendel i-sa părut că ajunse, de fapt, într-un alt univers.

Viena era vie, electrizantă, scânteietoare. La Universitate, aflată la câțiva kilometri de căminul său de pe Invalidenstrasse, Mendel și-a primit botezul intelectual pe care îl căutase cu atâtă fervoare la Brno. Fizica era predată de Christian Doppler, renumitul om de știință austriac, care avea să devină mentorul, profesorul și idolul lui Mendel. În 1842, Doppler, un bărbat înalt, slab, de 39 de ani, utilizase logica matematică pentru a argumenta faptul că acuitatea sunetului și culoarea luminii nu sunt fixe, ci depind de locația și viteza de deplasare ale observatorului. Sunetul dintr-o sursă care vine către un ascultător/receptor se comprezează și este percepțut mai acut, în timp ce sunetul care se îndepărtează scade în intensitate și devine mai grav. Scepticii îl ironizaseră: cum era posibil ca aceeași lumină, emisă de aceeași lampă să fie percepță diferit de diferitele persoane care o privesc? Dar în 1845, Doppler urcase într-un tren o orchestră de trompetiști și le ceruse acestora să cânte permanent o singură notă, pe când trenul înainta cu viteză. Scepticii prezenți putuseră să asculte, cu uimire, cum trenul emitea o notă acută, atunci când se aprobia de peron, și o notă mult mai gravă, atunci când se îndepărta.

Sunetul și lumina, afirma Doppler, se comportă în funcție de legi naturale universale, deși acestea sunt cu totul contrare percepției receptorilor obișnuiți. Într-adevăr, dacă privim atent, toate fenomenele aparent haotice și complicate ale lumii sunt, de fapt, rezultatul unor legi naturale extrem de bine organizate. Uneori,

intuiția și perceptiile ne permit să distingem aceste legi naturale. Dar mult mai adesea, pentru înțelegerea și demonstrarea lor, ar putea fi necesar un experiment cu totul artificial, cum ar fi, de exemplu, cel cu trompetiștii din trenul aflat în mișcare.

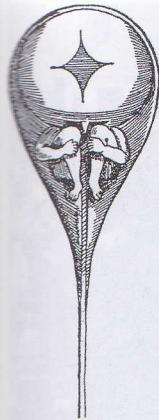
Demonstrațiile și experimentele lui Doppler l-au captivat pe Mendel, dar i-au dat și o stare de frustrare. Biologia, materia sa de bază, părea a fi o disciplină aidoma unei grădini pline de buruieni, căreia îi lipseau orice principii sistematice de organizare. La prima vedere, părea că ordinea era omniprezentă sau, mai degrabă, că există o abundență de ordine. Disciplina dominantă în biologie era taxonomia, o încercare elaborată de clasificare și subclasificare a tuturor ființelor vii, pe categorii distințe: regn, încrengătură, clasă, ordin, familie, gen și specie. Dar aceste categorii, descrise pentru prima oară de botanistul suedez Carl Linne, pe la mijlocul secolului 18, erau pur descriptive, nu mecaniciste. Sistemul descria modul de clasificare a ființelor vii pe Pământ, dar nu atribuia nicio logică care să stea la baza acestei organizări. De ce, s-ar fi putut întreba un biolog, erau toate aceste lucruri clasificate *astfel*? Ce anume menținea consecvența sau fidelitatea clasificării? Ce anume făcea ca elefanții să nu se transforme în porci, sau cangurii în castori? Care era mecanismul eredității? De ce și cum o anumită făptură dădea naștere unei făpturi de același fel?



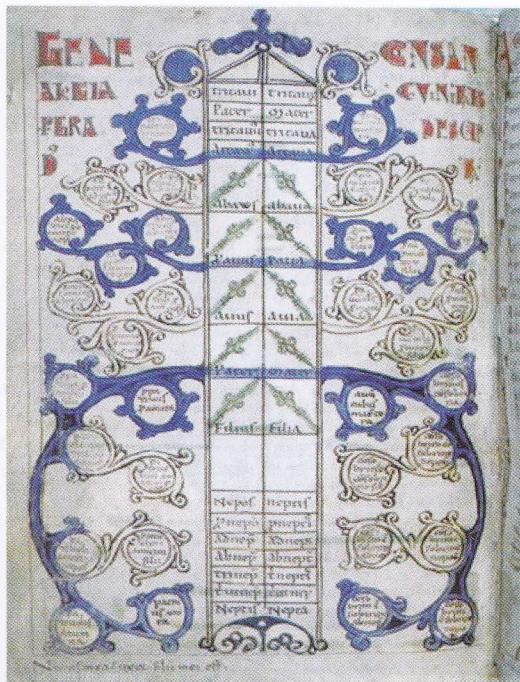
Problema „asemănării” îi preocupase de multe secole pe oamenii de știință și pe filosofi. Eruditul grec Pitagora, pe jumătate savant, pe jumătate mistic, care a trăit la Crotona pe la anul 530 î.Hr., a propus una dintre cele mai timpurii și larg acceptate teorii pentru explicarea asemănării dintre părinți și copii. În esență, teoria lui Pitagora prevedea că informația ereditară (adică „asemănarea”) era purtată de spermatozoid sau de sămânța masculină. Spermatozoizii colectau aceste instrucțiuni parcurgând întregul corp al bărbatului și absorbând o serie de aburi mistici de la fiecare dintre părțile individuale (ochii dădeau, de exemplu, culoarea, pielea transmittea textura, oasele – lungimea, și aşa mai departe). Pe parcursul vieții unui om, spermatozoizii lui devineau un fel de bibliotecă ambulantă, reunind fiecare dintre părțile corpului – un fel de esență condensată a propriei persoane.

Această informație personală – seminală în sensul cel mai literal – era transferată în corpul femeii în timpul actului sexual. Aflată în pântecul acesteia, sămânța se maturiza și devinea făt, fiind alimentată de mamă. La reproducere (ca la orice altă formă de producție), activitatea realizată de bărbați și cea realizată de femei era foarte clar divizată, considera Pitagora. Tatăl asigura informația esențială pentru crearea fătului, în vreme ce pântecul mamei asigura nutrienții, astfel încât toate aceste date se puteau transforma într-un copil. Teoria s-a numit „spermism”, evidențiind rolul crucial al spermatozoidului în determinarea tuturor trăsăturilor unui fetus.

În 458 î.Hr., la câteva zeci de ani după moartea lui Pitagora, dramaturgul Eschil a folosit această logică bizară pentru a oferi una dintre cel mai extraordinare pledoarii

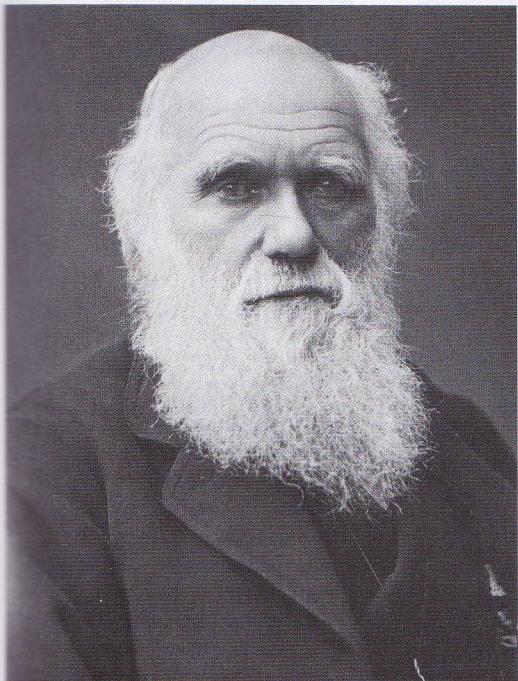


Acest homuncul, cuibărit într-un spermatozoid uman, a fost desenat de Nicolaas Hartsoeker în 1694. Ca mulți alți biologi ai epocii sale, Hartsoeker credea în „spermism”, teoria potrivit căreia informația necesară apariției unui fetus era transmisă de forma umană miniaturală aflată în spermatozoid.

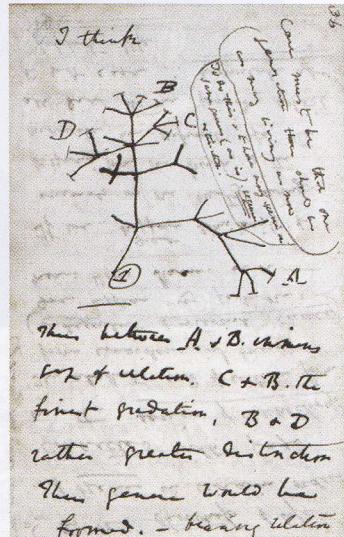


În Europa medievală, arborii genealogici erau adesea creați pentru a marca strămoșii și descendenții familiilor nobile. Acești arbori erau folosiți pentru a emite pretenții privind nobiltea și proprietatea sau pentru a iniția aranjamente matrimoniale între familii (în parte și pentru a scădea riscurile mariajelor consagvine între rude).

Termenul genă – în colțul din stânga sus – a fost folosit în sensul genealogiei sau descendenței. Conotația modernă a genei, ca unitate a informației ereditare, a apărut multe secole mai târziu, în 1909.



Charles Darwin (aici la vîrstă de peste 70 de ani) și schița „pomului vieții” realizată de el, prezintând organismele radiind dintr-un organism ancestral comun (remarcăți cuvântul „Cred”, reflectând îndoilele lui, scris deasupra desenului). Teoria evoluției prin variație și selecție naturală, a lui Darwin, necesita o teorie a eredității prin gene. Cititorii atenții ai teoriei darwiniste au realizat că evoluția poate funcționa doar dacă existau particule de ereditate indivizibile, dar mutabile, care să transmită informația între părinți și descendenți. Și totuși, Darwin, care nu citise niciodată lucrările lui Gregor Mendel, nu a găsit niciodată, în timpul vieții sale, o formulare adecvată a unei astfel de teorii.





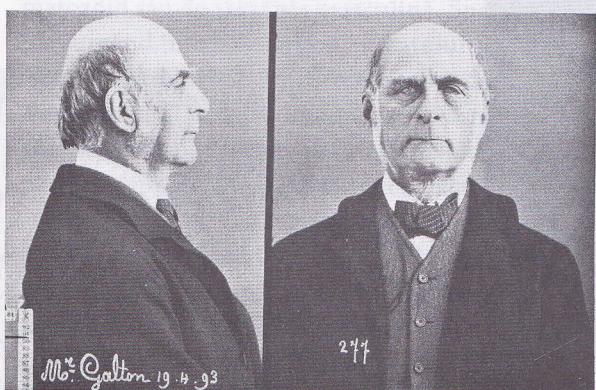
Gregor Mendel ține o floare, posibil de la o măzăre, în grădina mănăstirii sale din Brno (astăzi în Republica Cehă). Primele experimente ale lui Mendel, dintre 1850 și 1870, au identificat particulele invizibile de informație ca fiind purtătoare ale informației ereditare. Lucrarea lui Mendel (1865) a fost aproape ignorată timp de patru decenii, dar apoi a transformat radical biologia.



„Redescoperirea“ de către William Bateson a lucrării lui Mendel, în 1900, l-a transformat într-un adept al existenței genelor. Bateson a inventat termenul *genetică* în 1905, spre a descrie studiul eredității. Wilhelm Johannsen (stânga) a introdus termenul *genă* pentru a descrie o unitate a eredității. Johannsen l-a vizitat pe Bateson în casa acestuia din Cambridge, Anglia; cei doi au devenit colaboratori apropiati și apărători dedicați ai teoriei genelor.

Taille 1*	<i>Long</i>	Pied g.	N° de cl.	Age de
Vents	<i>Leve</i>	Médium g.	Auré	né le
Enverg 1*	<i>Larg</i>	Auric* g.	Part*	a
Busto 0,	<i>Long</i>	Coudée g.	Part*	dop
Buste 0,	<i>Larg</i>			age appr.

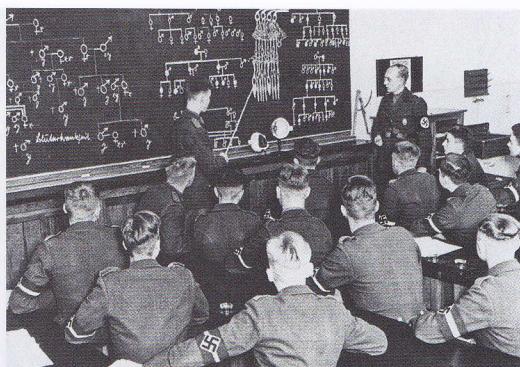
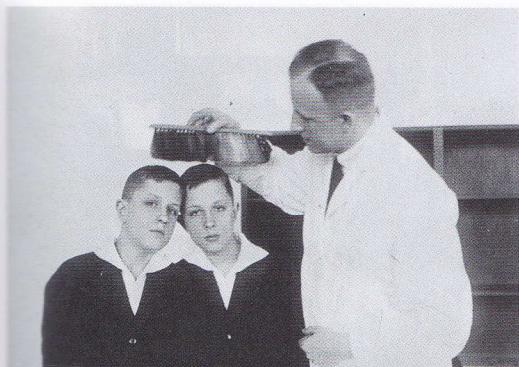
(Réduction photographique 47.)



Inclin*	Racine (cavité)	Barbe *
Haut*	Dos	Barbe
Larg*	Base	Cheveux
Part*	Haut Sallie. Larg	Cat
	Part*	Cuill.
		Autres traits caractéristiques :
		Sig. dressé par M.

Francis Galton, aged 71, photographed as a criminal on his visit to Bertillon's Criminal Identification Laboratory in Paris, 1893.

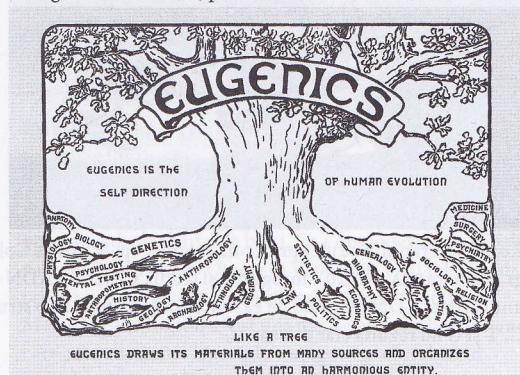
Francis Galton – matematician, biolog și statistician – s-a plasat singur pe unul dintre „cartonașele antropometrice“, în care înscria înălțimea, greutatea, trăsăturile faciale și alte caracteristici ale unei persoane. Galton s-a opus teoriei genelor, emisă de Mendel. El mai considera că înmulțirea selectivă a oamenilor cu cele mai „bune“ trăsături va duce la creaarea unei rase umane îmbunătățite. *Eugenics*, termen inventat de Galton pentru știința emancipării umane prin manipularea eredității, avea să se transforme curând într-o formă macabré de control social și politic.



Doctrina nazistă a „igienei rasiale“ a declanșat un vast efort finanțat de stat pentru purificarea rasei umane prin sterilizare, detenție și ucidere. Studiile pe gemeni au fost folosite pentru a dovedi puterea influențelor ereditare, iar bărbați, femei și copii au fost exterminați pe baza presupunerii că purtau gene defective. Naziștii și-au extins eforturile eugenice, spre a extermina evrei, țiganii, disidenții și homosexualii. Aici, savanții naziști măsoară înălțimea unor gemeni și prezintă tabele cu istoricul familial recruiților naziști.



Concursurile de frumusețe pentru copii au fost introduse în Statele Unite după 1920. Medicii și asistențele examinau copiii (toti albi) pentru a stabili care dintre aceștia aveau cele mai bune trăsături genetice. Concursurile au generat o susținere pasivă pentru eugenie în America, prezentând cei mai sănătoși copii ca fiind produse ale selecției genetice.



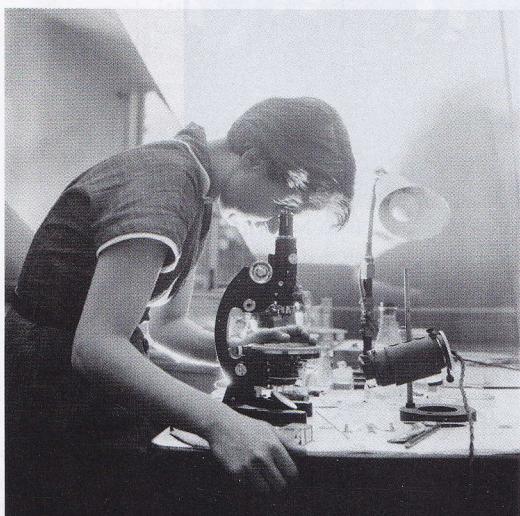
O caricatură a „pomului vieții“ publicată în SUA susține „autodirecționarea evoluției umane“. Medicina, chirurgia, antropologia și genealogia sunt „rădăcinile“ arborelui. Știința eugeniei speră să folosească aceste principii fundamentale pentru a selecționa oameni mai sănătoși, mai bine adaptați și mai reuși.



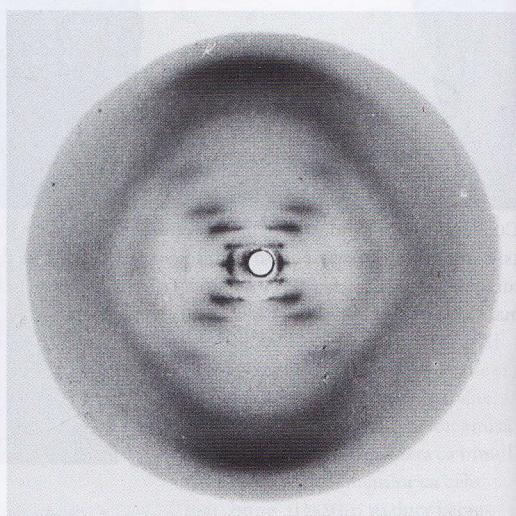
După 1920, Carrie Buck și mama ei, Emma Buck, au fost trimise în Colonia pentru Epileptici și Oligofreni din Lynchburg, Virginia, unde femeile clasificate ca „imbecile“ erau, de obicei, sterilizate. Fotografia, făcută sub pretextul surprinderii unei scene obișnuite între mamă și fiică, a fost rezigată, spre a oferi dovada asemănării dintre Carrie și Emma și, ca atare, dovada „imbecilității lor ereditare“.

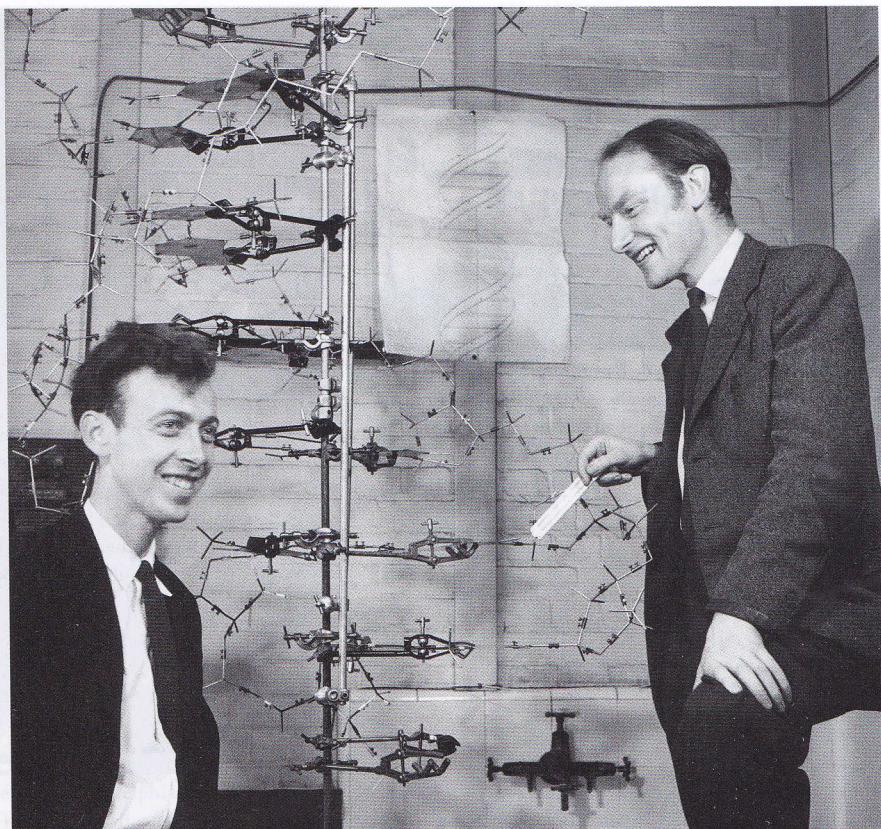


La Universitatea Columbia și ulterior la Universitatea Caltech, între 1920 și 1940, Thomas Morgan a folosit musculitele de ojet spre a demonstra că genele sunt legate fizic unele de altele, anticipând, în mod vizionar, că o moleculă singulară, asemănătoare unui lanț, poartă informația genetică. Legăturile dintre gene aveau să fie în cele din urmă folosite pentru a genera hărți genetice la om și a pune fundația Proiectului Genomului Uman. Acesta este Morgan în „camera cu muște“ de la Caltech, înconjurat de sticle de lapte în care muștele și viermii se înmulțeau.



Rosalind Franklin se uită printr-un microscop, la King's College, Londra, undeva după 1950. Franklin a folosit cristalografia cu raze X pentru a fotografia și studia structura ADN-ului. Fotografia cu nr. 51 este cea mai clară dintre imaginile unui cristal ADN realizate de ea. Fotografia sugerează o structură dublu elicoidală, deși orientarea precisă a bazelor A, C, T și G nu rezultă clar din ea.





James Watson și Francis Crick își demonstrează modelul lor de ADN ca o dublă elice în Cambridge, în 1953. Cei doi au rezolvat enigma structurii ADN-ului realizând că baza A de pe un fir face pereche cu baza T de pe celălalt fir și G face pereche cu C.



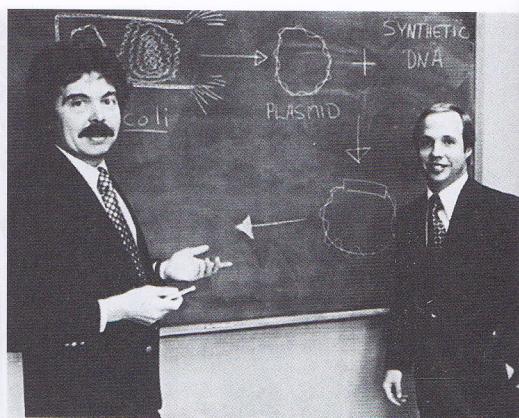
La Clinica Moore din Baltimore, după 1950, Victor McKusick a creat un vast catalog al mutațiilor umane. El a descoperit că un fenotip – statura scundă sau „nanismul” – ar putea fi provocat de mutații în câteva gene discrete. Similar însă, diverse fenotipuri puteau fi cauzate de mutații într-o sigură genă.



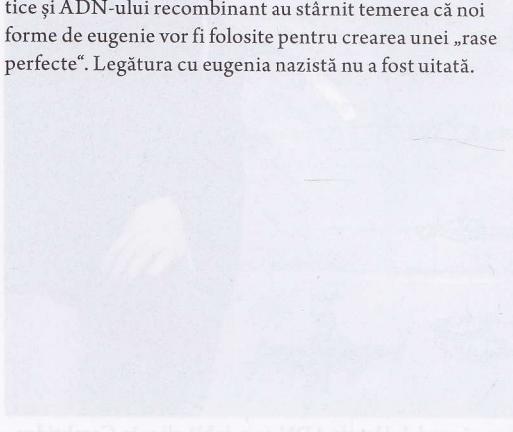
Mama și unchiul lui Nancy Wexler au fost diagnosticați cu maladia Huntington, o boală neurodegenerativă letală, care declanșează mișcări involuntare ale membrelor. Diagnosticul a determinat-o pe Nancy să caute gena responsabilă de declanșarea bolii. Ea a descoperit un grup de oameni având această boală în Venezuela – cu toții fiind, probabil, descendenții unei singure persoane bolnave. Maladia Huntington a fost una dintre primele boli umane care a fost definitiv legată de o singură genă, folosind metode moderne de cartografiere genetică.



Studenții protestează față de o reuniune a geneticienilor, în anii '70. Noile tehnologii ale secențierii, clonării genetice și ADN-ului recombinant au stârnit temerea că noi forme de eugenie vor fi folosite pentru crearea unei „rase perfecte“. Legătura cu eugenia nazistă nu a fost uitată.



Herb Boyer (stânga) și Robert Swanson au înființat Genentech în 1976, pentru a produce medicamente din gene. Desenele de pe tablă prezintă schema de producere a insulinei folosind tehnologia ADN-ului recombinant. Primele asemenea proteine au fost produse în enorme incubatoare bacteriene sub supravegherea atentă a lui Swanson.

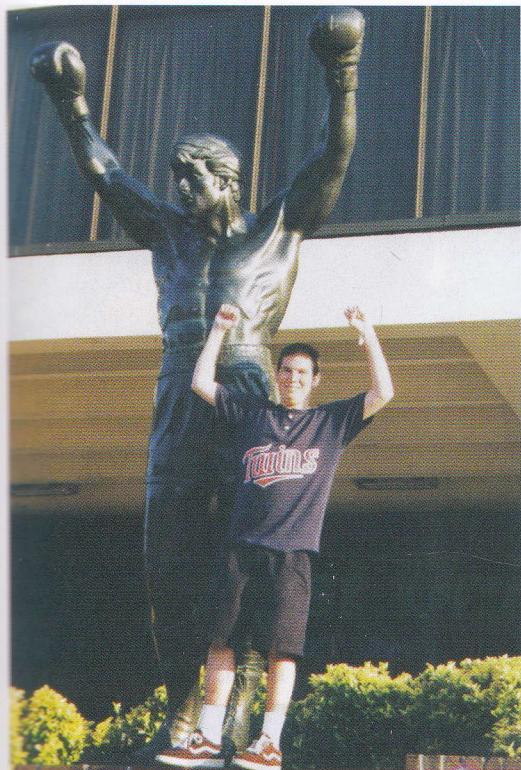


Paul Berg discută cu Maxine Singer și Norton Zinder la întâlnirea Asilomar din 1975, în vreme ce Sydney Brenner își ia notițe, pe fundal.

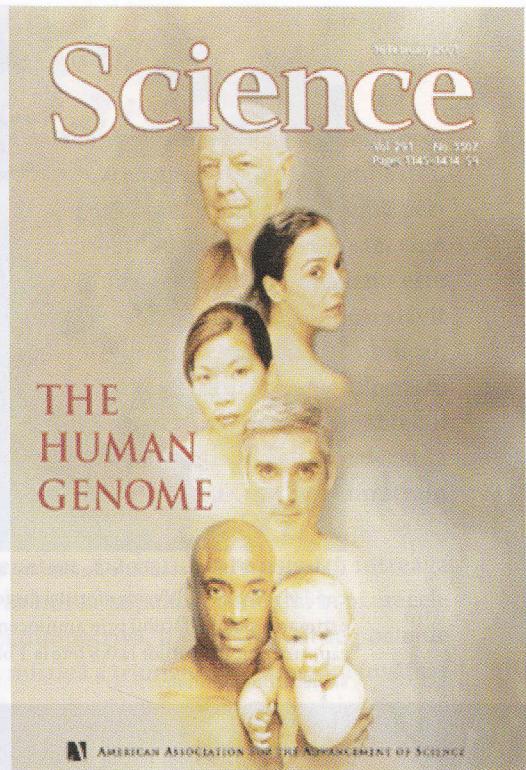
După descoperirea tehnologiilor pentru crearea de hibrizi genetici între gene (ADN recombinant) și producerea a milioane de căpătări din acești hibrizi în celule bacteriene (clonare genică), Berg și alți savanți au propus un „moratoriu“ asupra anumitor studii privind ADN-ul recombinant până la estimarea adecvată a risurilor.



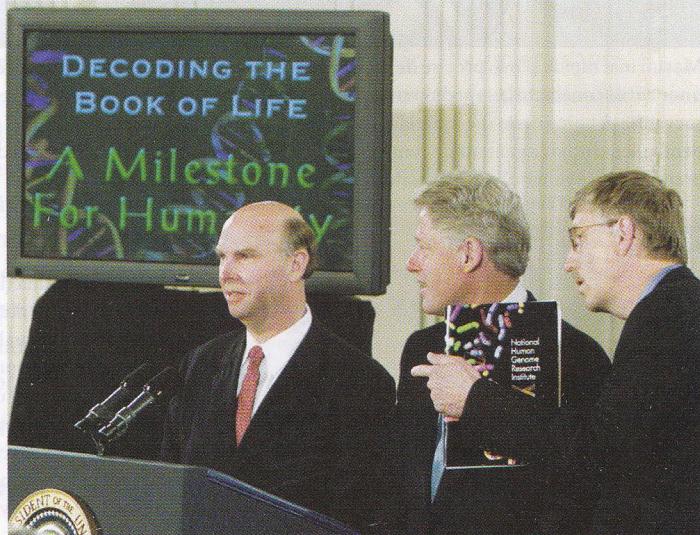
Frederick Sanger examinează un gel de secențiere ADN. Inventarea de către Sanger a unei tehnici pentru secențierea ADN-ului (respectiv citirea desfășurării precise a sirului de baze – A, C, T și G – în sevența unei gene) a revoluționat înțelegerea genelor și a pregătit scenă pentru Proiectul Genomului Uman.



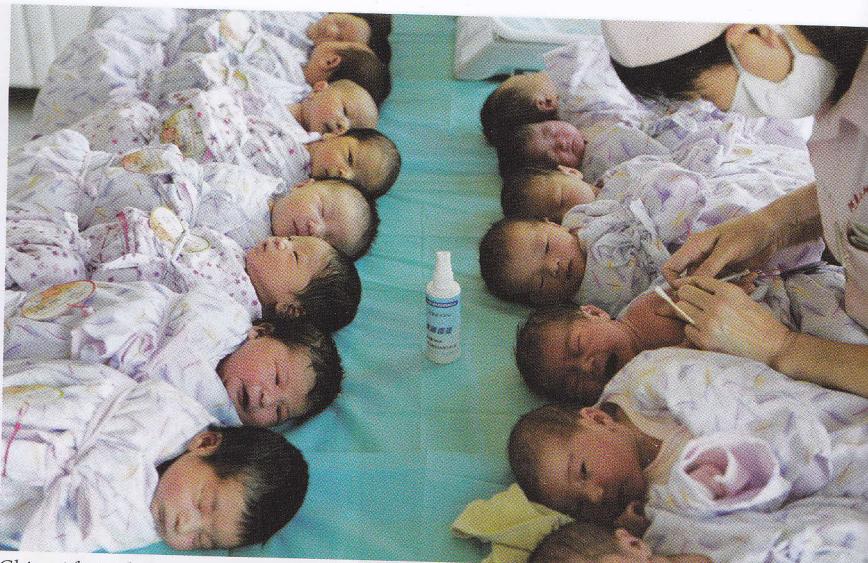
Jesse Gelsinger pozează în Philadelphia, cu câteva luni înainte de moartea lui, în 1999. Gelsinger a fost unul dintre primii pacienți tratați prin terapii genice. A fost desemnat un virus pentru eliberarea în ficiatul Tânărului a formei corecte a unei gene mutante, dar Gelsinger a manifestat o reacție imunologică gravă la virus, ducând la cedarea ficiatului și ulterior la deces. „Moartea biotecnologică” a lui Gelsinger a generat în SUA reacții la nivel național pentru asigurarea siguranței testărilor terapiilor genice.



Coperta din februarie 2001 a revistei *Science* anunță prima secvențiere a genomului uman.



Craig Venter (stânga), președintele Bill Clinton și Francis Collins anunță prima secvențiere a genomului uman, pe 26 iunie 2000, la Casa Albă.



Chiar și fără tehnici subtile de alterare a genomurilor umane, capacitatea de a estima genomul unui copil *in utero* a dus la vaste eforturi disgenice în toată lumea. În unele regiuni din China și din India, estimarea sexului fătului prin amniocenteză și avortul selectiv al fetușilor feminini a modificat raportul nou-născuților la 0,8 fete la 1 băiat și a provocat alterări fără precedent ale populației și structurilor familiale.



Mașini mai rapide și mai precise de secvențiere a genelor (găzduite de containere gri, asemănătoare unor cutii) conectate la supercomputere care analizează și adnotează informația genetică pot acum secvenția genomuri umane individuale în câteva luni. Variații ale acestei tehnici pot fi folosite pentru secvențierea genomului unui fetus sau embrion multicelular, permitând diagnosticarea de preimplantare genetică și diagnosticarea *in utero* a viitoarelor boli.



Jennifer Doudna (dreapta), biolog și cercetător al ARN-ului la Berkeley, se numără printre cei care lucrează la un sistem de realizare a mutațiilor țintite, intenționate, în gene. În principiu, sistemul poate fi folosit pentru a „edita“ genomul uman, deși tehnologia trebuie încă perfectionată și supusă estimărilor privind siguranța și fidelitatea. Dacă schimbările genetice intenționate vor fi introduse în spermatozoizi, ovule sau celule stem embrionice, tehnologia va prevesti geneza unor oameni cu gene modificate.