

Evoluția tehnicii și tehnologiilor de la prima la a patra revoluție industrială și impactul lor social

Academician Dorel BANABIC

Discurs de recepție în Academia Română

26 Septembrie 2018

Este un privilegiu și o bucurie pentru mine de a expune astăzi în fața dumneavoastră Discursul de recepție în Academia Română. Nu a fost ușor să găsesc tema discursului, având de optat între a prezenta o temă de specialitate, din domeniul preocupărilor mele, și anume modelarea comportării anizotrope și deformabilitatea materialelor metalice, sau o temă de larg interes, care să încerce să capteze atenția unui auditoriu foarte eterogen din punctul de vedere al preocupărilor. Așa cum se deduce din titlul discursului, am optat pentru a doua variantă. Acest discurs s-ar fi putut intitula „Laudă inginerului român” pentru a urma tradiția a patru academicieni: doi transilvăneni, unul scriitor, iar celălalt filosof și doi munteni, unul critic literar, iar celălalt inginer agronom. Aceștia au adus laude, în discursurile lor de recepție la Academia Română, unul țaranului român, al doilea satului românesc, al treilea criticului român, iar ultimul slujitorilor pământului românesc. Mă refer aici la cele patru discursuri celebre: „Laudă țaranului român” al lui Liviu Rebreanu, „Elogiul satului românesc” al lui Lucian Blaga, „Laudă criticului român” al lui Eugen Simion și, respectiv, „Pledoarie pentru sol. Elogiul slujitorilor pământului românesc” al lui Cristian Hera. După peste 80 de ani de la discursurile lui Rebreanu și Blaga vremurile s-au schimbat, România s-a transformat, lumea a devenit tot mai tehnicizată. Ca urmare, pentru a fi în pas cu vremurile, astăzi voi aduce un elogiu inginerului român.

Introducere

Putem afirma că istoria tehnicii a început printr-un sacrificiu. Să mă explic: așa cum spune legenda, Prometeu a furat Focul zeilor din Olimp și l-a dat oamenilor pentru a se încălzi, a lumina, dar și pentru a-și făuri unelte, adică pentru a deveni *meșteșugari*. Acesta este momentul de început al tehnicii. Se consideră că semnul distinctiv al omului, care-l deosebește de primate, este capacitatea acestuia de a-și construi unelte cu care să-și construiască alte unelte. Focul a fost unealta cu care Omul a început să-și făurească alte unelte. Pentru acest act eroic, de cel mai înalt umanism, acela de a sfida Zeii și de a dărui oamenilor Focul, Prometeu a fost înlănțuit pe stâncă și sacrificat. Ca urmare, putem spune că prin sacrificiul lui Prometeu omenirea a început

un drum lung, acela al dezvoltării tehnicii, care, pentru ca legenda să fie rotundă, ar trebui să ducă omenirea înapoi în Olimp, să-l aducă pe Om la condiția de Zeu. Adică, să-l facă Nemuritor și Fericit. *Acesta este scopul tehnicii! Măreț și ambițios scop, trebuie să recunoaștem!* Yuval Harari, în excelenta sa carte *Homo Deus*, tradusă anul acesta și în limba română [Har 2018], prezintă trei căi pentru atingerea acestui scop: *bio-ingineria*, *ingineria cyborg* (adică contopirea corpului organic cu extensii non-organice) și *ingineria ființelor non-organice*. Căile menționate implică ingineria în realizarea visului omenirii!

Coborând din Olimp cu picioarele pe Pământ, voi începe prezentarea cu definirea și etimologia termenilor despre care voi discuta astăzi: *tehnică* și *tehnologie*. În limba română, cei doi termeni au înțelesuri diferite, în timp ce în limba engleză există un singur termen care definește ambele noțiuni și anume *technology*. Termenul „*tehnică*” apare în literatură în jurul anului 1600 și are etimologia în „*techne*” din greaca veche. Termenul de *tehnologie* apare prima dată în literatură în limba latină (*technologia*) în anul 1620 în *Encyclopedia* lui Johann Heinrich Alsted, iar termenul în engleză *technology* în anul 1661, în ediția a doua a unui dicționar al lui Thomas Blount intitulat *Glossographia* [Blo 1661]. În anul 1829 Jacob Bigelow a publicat la Boston celebra sa carte *Elements of Technology* [Big 1829], aceasta fiind prima carte în limba engleză care a tratat sistematic și riguros tehnologiile cunoscute la acel moment. Influența acestei cărți asupra mediului academic și industrial din Statele Unite a fost așa de mare încât s-a decis ca noua școală de inginerie de la Boston, înființată în anul 1861, să se numească Massachusetts Institute of Technology (MIT). Termenul de „*tehnologie*” a fost format prin îngemănarea a doi termeni din greaca veche: *techne* – artă, meșteșug și *logos* – știință. În limba română, termenul de *tehnologie* a fost introdus în prima parte a veacului al XIX-lea de către absolvenții universităților tehnice din Franța, Germania, Austria, reîntorși în țară, precum: Gheorghe Asachi, Gheorghe Lazăr, Petrache Poenaru, Alexe Marin, și alții [Ban 2018a]. Prima menționare a termenului *tehnologie* în titlul unei cărți românești se găsește în traducerea în limba română a cărții lui Guillery H., *Technologie* din anul 1856 [Gui 1856]. În accepțiunea actuală, conform *Lexiconului Tehnic Român* [Lex 1965], noțiunea de *tehnologie* reprezintă știința metodelor și a mijloacelor de prelucrare a materialelor în scopul realizării unui produs. *Ingineria* reprezintă activitatea de aplicare a cunoștințelor științelor matematice, fizice, chimice etc. dobândite prin studiu, experiență și practică pentru dezvoltarea de modalități de utilizare în mod economic a materialelor și forțelor naturii în beneficiul omenirii. Cei care realizează această activitate se numesc *ingineri*. Ca urmare putem spune că inginerii sunt acea comunitate profesională care creează soluții pentru creșterea bunăstării omenirii și a nevoilor societății. Etimologia termenului de *inginer* este din limba latină, *ingenium*, ceea ce înseamnă spirit

inventiv, creativ, îndemânic [Ver 1984]. Profesia de inginer este foarte veche, apărând odată cu începuturile civilizației. Primele informații despre existența unor specialiști cu experiență și dedicați activităților specific ingineriei apar în câteva texte care prezintă rezultate ale măsurării zidurile Babilonului și o reprezentare a canalelor Eufratului, datând din mileniul al treilea înainte de Hristos [Kai 2006]. Nu ne putem închipui marile construcții din Antichitate (orașele Mesopotamiei, piramidele din Egipt, farul din Alexandria, apeductele, drumurile și podurile romane, Colosseumul din Roma, Marele Zid Chinezesc, Acropole din Atena etc.) fără existența unui corp de specialiști în proiectarea și construcția acestora. Numele unora dintre ei au rămas până astăzi (*Imhotep* – constructorul celei mai vechi piramide, *Phidias* – constructorul Acropole-ului, *Sostratus* – constructorul farului din Alexandria, *Apolodor din Damasc* – constructorul podului peste Dunăre etc.), dar mulți alții au fost uitați în negura vremurilor. Unii dintre ei au fost divinizați (cazul lui *Imhotep*, constructorul de piramide), în timp ce altora li s-a interzis scrierea numelor lor pe operele create (cazul lui *Sostratus*) sau au fost surghiuniți sau uciși pentru a nu crea alte opere similare sau mai îndrăznețe. Se poate considera că profesia de inginer are o vechime de peste șase milenii. Termenul de *inginer* apare în câteva texte mult mai târziu, în secolul al doisprezecelea după Hristos, desemnând specialistul în proiectarea, realizarea și utilizarea mașinilor de război, în special ale celor de asediu [Ver 1984]. Cel mai reprezentativ nume care corespunde acestei descrieri a inginerului din Evul Mediu este *Leonardo da Vinci*.

Evoluția tehnicii și a tehnologiilor de la prima la a patra revoluție industrială

În continuare vă voi prezenta această evoluție din două puncte de vedere: primul, prin prisma dezvoltării tehnologiilor și al doilea prin prisma adaptării acestora la cerințele consumatorului.

Tehnologiile au evoluat disruptiv de la apariția lor până în prezent, putând fi definite patru mari revoluții industriale (denumite în literatură Industry 1.0 până la Industry 4.0) (Figura 1). Revoluțiile industriale reprezintă transformarea radicală a structurii unei economii prin: schimbarea tipului de energie folosită, utilizarea unor noi sisteme de mașini și de forme de organizare a producției.

Prima revoluție industrială a început la mijlocul secolului XVIII în Anglia. Cauzele producerii și localizării ei în Anglia în această perioadă sunt politice și economice, dar și tehnice. Din punctul de vedere al tehnicii, necesitatea crescândă de produse textile, de sticlărie și de fier a condus la îmbunătățirea tehnologiilor de prelucrare ale acestora. Mă voi referi aici numai la cauzele datorate fabricației fierului. Consumul tot mai mare de produse de fier a făcut

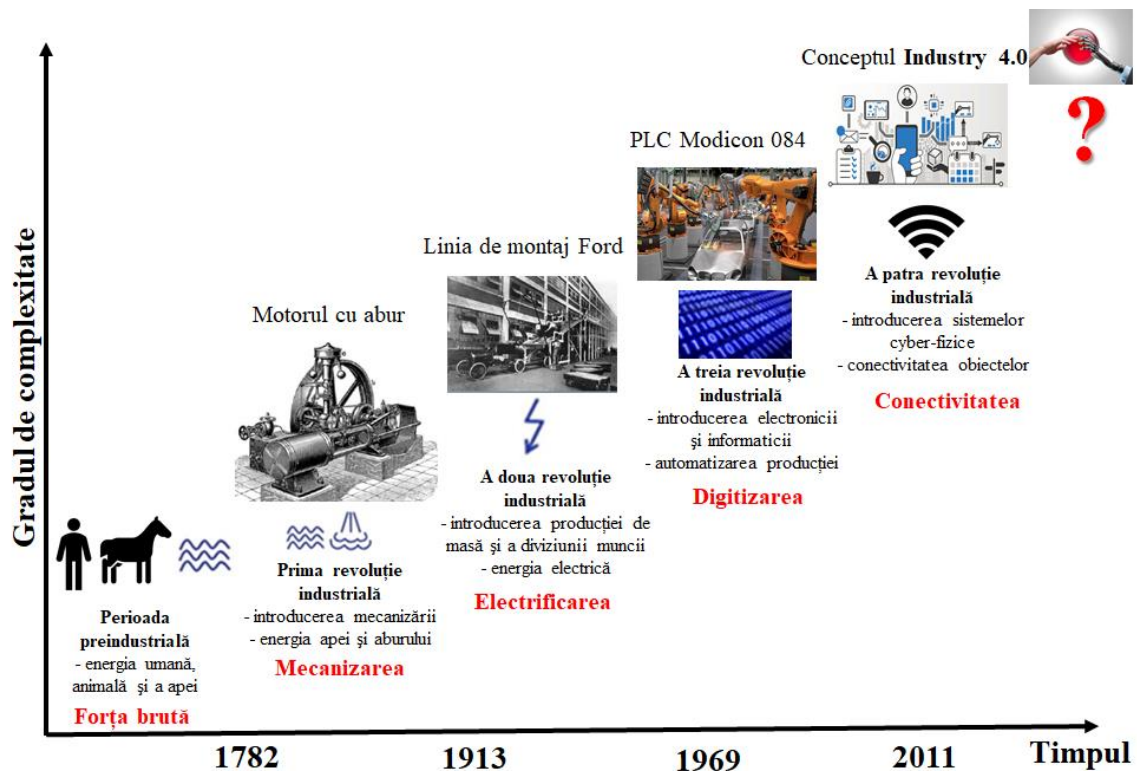


Figura 1. Evoluția tehnicii de la prima la a patra revoluție industrială

să crească necesarul de cărbune utilizat în procesul de fabricație a fontei și oțelului. Acest lucru a necesitat adâncirea puțurilor având ca rezultat apariția tot mai frecventă a inundațiilor galeriilor, ceea ce a condus la utilizarea pompelor de extras apa din minele de cărbune. Soluția găsită de *Newcomen*, în anul 1712, a fost aceea a utilizării pompelor acționate cu un motor cu abur. *Watt* îmbunătățește motorul lui *Newcomen* și în anul în anul 1782 realizează un nou tip de motor cu abur cu dublu efect. De la acesta până la utilizarea, în anul 1802, de către *Trevithick* a motorului cu abur pentru construcția unei locomotive, nu a fost decât un pas. Al doilea pas a fost făcut de către *George Stephenson* care a modernizat și îmbunătățit locomotivele lui *Trevithick*, realizând (în anul 1825) locomotiva *Locomotion* care a tractat vagoanele trenului de pe prima linie de cale ferată Stockton-Darlington. Ulterior, revoluția industrială s-a extins în Belgia, Franța, Germania, Statele Unite ale Americii, iar, începând cu prima parte a secolului XIX, în toată Europa. Prima revoluție industrială este caracterizată de introducerea echipamentelor mecanice de producție acționate de forța apei sau a aburului. Astfel s-a trecut de la producția manuală la producția mecanizată realizată cu ajutorul mașinilor, muncitorului revenindu-i rolul de supraveghetor și organizator al producției. Rolul primordial al agriculturii în viața economică și socială a fost preluat de industrie. Dacă în perioada preindustrială producția era artizanală și intuitivă, ulterior aceasta devine de tip industrial și rațională.

Prima revoluția industrială s-a manifestat pe teritoriul României mult mai târziu, după mai mult de o jumătate de secol, față de țările occidentale. Primele industrii care au utilizat beneficiile mașinismului au fost cele alimentară (morărit și fabricarea zahărului), textilă, a hârtiei, lemnului, materialelor de construcții, metalurgiei și mineritului. Prima mașină cu abur a fost adusă pe teritoriul României în anul 1831 la Gârbou, județul Cluj, și a fost utilizată în industria morăritului. În anul 1846, se montează o astfel de mașină (importată din Franța) la moara din Păcurari, Iași. Câțiva ani mai târziu, în anul 1853, se construiește la București moara Assan, care utiliza pentru acționare un motor cu abur, adus de la Viena. Prima mașină cu abur a fost utilizată în industria minieră la mina din Zlatna în anul 1838. Începuturile erau timide, în Moldova și Țara Românească existând doar 171 de mașini cu abur (în 1863) și 39 de fabrici (în 1866) [Ber 2003]. Abia în a doua jumătate a secolului XIX, odată cu reformele inițiate de Alexandru Ioan Cuza, cu obținerea independenței de stat și cu legea pentru încurajarea industriei naționale din anul 1887 (intitulată „*Măsuri generale pentru a veni în ajutorul industriei naționale*”), au început să se manifeste pe deplin semnele revoluției industriale, printr-o creștere și extindere semnificativă a industriei și prin introducerea mașinilor ca forță motrice în producție [Pai 1904] [Zan 1970]. Către sfârșitul secolului XIX a început și în România construcția de mașini, producția fiind orientată spre fabricarea de utilaje agricole, de echipamente pentru industriile feroviară, navală și petrolieră și de echipamente militare [Ban 2018b].

A doua revoluție industrială a debutat la sfârșitul secolului XIX. Începând cu prima parte a secolului XIX, descoperirile și invențiile din domeniul electricității și mașinilor electrice au avut o dinamică fulminantă. Acest lucru a făcut ca, spre sfârșitul acestui secol, motorul electric să fie utilizat în industrie. Pe de altă parte, necesitatea tot mai mare de produse a făcut ca fabricile să crească continuu, ceea ce solicita modalități de organizare a producției diferite de cele ale fabricilor/atelierelor de la începutul secolului. Specific acestei revoluții este utilizarea acționării electrice a echipamentelor de producție și realizarea unei producții de masă bazată pe divizarea și specializarea activităților în procesul muncii prin utilizarea liniilor de producție. Prima linie de producție a fost utilizată în anul 1870 la abatorul din Cincinnati, SUA. Dar cea mai cunoscută și cu impactul cel mai mare l-a avut introducerea de către *Ford*, în anul 1913, a liniei de montaj pentru modelul de automobil Ford T. Dacă în anul 1912 producția de automobile Ford T era de 40.000 de bucăți, în anul 1914, după introducerea liniei de montaj, aceasta a crescut la peste 260.000. O altă caracteristică a acestei revoluții a fost dezvoltarea motorului cu ardere internă care a revoluționat transporturile și a deschis era utilizării petrolului

ca principală sursă de energie. Acest fapt a constituit un atu important pentru economia românească, datorită resurselor bogate de țiței ale țării.

Primul Război Mondial a întârziat extinderea celei de-a doua revoluții industriale dinspre SUA înspre Europa. Abia după anul 1920 se observă primele semne ale acestei revoluții în România. Noul context geo-politic a favorizat dezvoltarea capitalului românesc, în special în domeniile transportului și petrolier. Relevante în acest sens sunt întreprinderile constructoare de locomotive ale lui Malaxa, cele constructoare de avioane, respectiv cele de construcții de utilajul petrolier. Industrializarea României a fost continuată după cel de-al Doilea Război Mondial, într-un nou context politic, încercându-se o reducere a decalajului dintre România și țările avansate tehnologic [Ban 2018b].

Dezvoltările tehnologice realizate după cel de-al Doilea Război Mondial atât în domeniul mașinilor-unelte și automatizării proceselor de fabricație, cât, mai ales, în domeniul micro-electronicii și calculatoarelor, au condus la cea de-a *treia revoluție industrială*. Se consideră că începutul acesteia a fost în anul 1969, când s-a realizat și utilizat primul Controler Programabil Logic (PLC), Modicon 084, fapt ce a revoluționat sistemele de automatizare industriale. Acesta este un dispozitiv programabil utilizat pentru comanda mașinilor și proceselor industriale. Caracteristica de bază a celei de-a treia revoluții industriale este utilizarea sistemelor electronice și tehnologiei informației, precum și a roboților în automatizarea producției. Din punct de vedere energetic, începe să crească semnificativ utilizarea energiei nucleare.

România, aflată la începutul anilor 1970 într-un plin proces de industrializare și de deschidere spre țările din vestul Europei, s-a integrat rapid în acest proces de robotizare și de utilizare a calculatoarelor în procesele industriale. A fost demarat un program național de construcție de mașini unelte cu comandă numerică, de construcții de roboți și de calculatoare, precum și unul de construcții de centrale electrice nucleare. Acest lucru a făcut ca România să fie una din cele mai avansate țări din Europa de Est în aceste domenii și un exportator principal al acestor produse de vârf din punct de vedere tehnologic. Din păcate, după anul 1989, datorită schimbărilor interne, cât și contextului internațional, România nu a fructificat avansul avut în acest domeniu, devenind dintr-un exportator de tehnologie specific celei de-a treia revoluții industriale un importator al acesteia.

Începând cu deceniile 8 și 9 ale secolului XX, s-au făcut progrese semnificative în domeniul calculatoarelor, senzoricii și telecomunicațiilor. Aceste realizări, împreună cu apariția și generalizarea în masă a internetului, au condus la cea de-a *patra revoluție industrială* (Industry 4.0). Aceasta este caracterizată de utilizarea sistemelor cyber-fizice în procesele de producție și în conectivitatea acestora. Conceptul de *Industrie 4.0* a fost introdus de cancelarul

Germaniei Angela Merkel în anul 2011, cu ocazia deschiderii Târgului de la Hanovra [Sch 2016]. Tehnologiile avansate specifice celei de-a patra revoluții industriale sunt: internetul obiectelor (Internet of Things-IoT), prelucrarea datelor și, mai nou, manufacturarea produselor în „cloud” (cloud manufacturing), prelucrarea prin adăugare de material (Additive Manufacturing), realitatea augmentată, Big Data, roboții autonomi, simularea proceselor, integrarea sistemelor pe verticală și orizontală [Sch 2018]. Prin aplicarea acestor noi tehnologii, momentul în care aplicația de pe telefonul mobil va sesiza, prin intermediul senzorilor, o problemă de sănătate și va transmite informația doctorului (virtual), care va prescrie rețeta și o va transfera farmaciei, care va „imprima” a medicamentele și le va livra pacientului prin intermediul unei drone, nu este departe. Toate tehnologiile menționate în procesul descris mai sus sunt realizate sau în curs de realizare [Ski 2018a].

Conceptele celei de-a Patra Revoluții Industriale sunt incluse deja în programele strategice de dezvoltare ale tuturor țărilor dezvoltate din Europa, America și Asia. România trebuie să fie parte activă la acest salt calitativ al industriei mondiale, având câteva puncte tari pe care trebuie să le valorifice. Menționez aici doar câteva dintre ele: existența forței de muncă înalt calificate în domeniul IT; existența unui sector IT foarte performant, cu competențe în domeniile esențiale pentru Industry 4.0: inteligența artificială, securitatea datelor, Big Data, rețele de comunicații etc.; existența unor nuclee de cercetare în tehnologii specifice pentru Industry 4.0 (Additive Manufacturing) sau în domeniul simulării avansate a proceselor de fabricație (multiscale modeling, stochastic modeling); implicarea unor colective universitare în proiecte europene din domeniul Industry 4.0; existența unei diaspore românești foarte active în acest domeniu; existența unei infrastructuri de internet foarte performantă; existența unei industrii de furnizori pentru industria auto dezvoltată și cu o dinamică accentuată, acest sector fiind unul din cele mai importante pentru Industry 4.0; existența unor companii care oferă expertiză în acest domeniu, precum Digital Twin, NTT Data, Evosoft, Fortech etc.; existența unei excelente colaborări cu industria germană, promotoarea conceptului Industry 4.0.

Care va fi următorul pas? Când și în ce va consta următoarea revoluție? Din punctul meu de vedere, următoarea revoluție industrială se va realiza în momentul în care mașinile (uneltele) se vor reproduce (multiplica) ele însele: își vor gândi, proiecta și realiza singure mijloacele (sau instrumentele) de care au nevoie pentru îndeplinirea sarcinilor date de subiectul uman. Cât de departe este acest moment? Greu de spus. Prefigurări în acest sens sunt deja realizate: există deja programe de calculator care „scriu” la rândul lor programe. Ținând seama de faptul că viteza implementării unei noi invenții în viața cotidiană este din ce în ce mai mare, momentul apariției următoarei revoluții poate fi estimat la câteva zeci de ani.

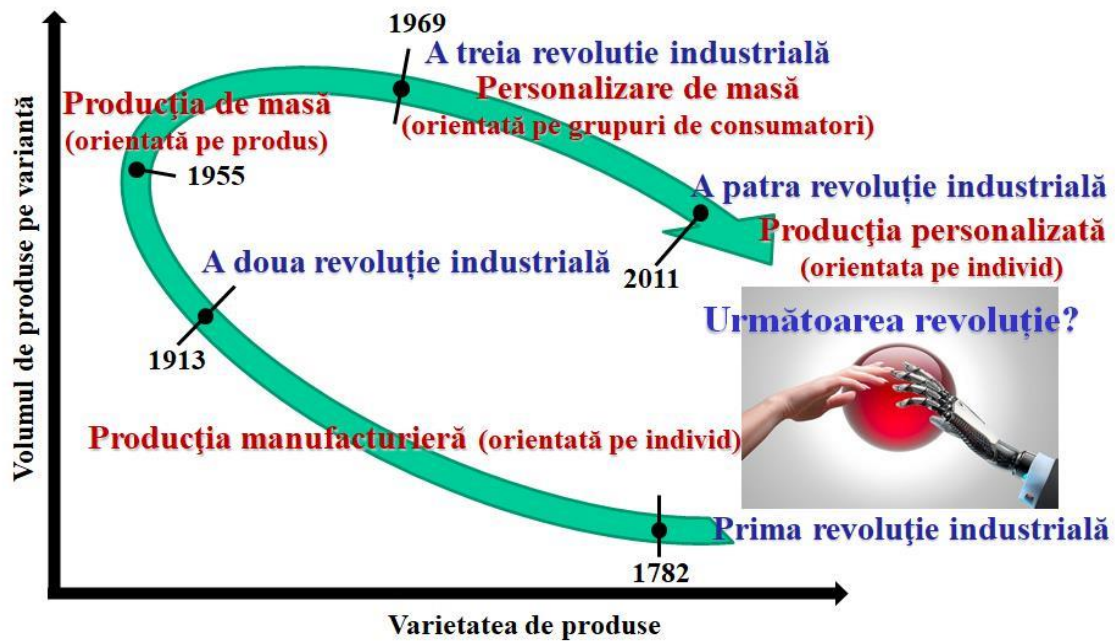


Figura 2. Evoluția ciclică a tehnologiilor de la prima la a patra revoluție industrială

Dacă privim istoria tehnologiilor din punctul de vedere al adaptării acestora la cerințele consumatorului, o putem periodiza în următoarele patru etape, care se suprapun, în general, peste cele patru revoluții industriale (Figura 2). Perioada dinaintea primei revoluții industriale (cea a producției artisanale) este caracterizată prin aceea că fiecare produs era proiectat și realizat pentru un anumit client (încălțăminte, hainele, harnașamentele pentru cai etc.). Revoluția industrială din secolele XVIII și XIX a condus la o creștere a productivității și a volumului de producție pe variante de produs, ceea ce a făcut ca, la începutul secolului XX, să se treacă la o altă paradigmă, aceea a producției de masă (introdusă de Ford în fabricația modelului de automobil Ford T). În această etapă este fabricat un număr limitat de produse, acestea fiind realizate într-un număr foarte mare (de masă), presupunându-se că vor fi suficienți cumpărători pentru ele. Anul 1955 se consideră a fi caracteristic pentru producția de masă, fiind anul cu volumul cel mai mare de producție pentru o anumită variantă de produs. Începând cu acest an, de cotitură, varietatea produselor crește, iar numărul de produse pe o variantă începe să scadă. Anul 1969 este anul trecerii într-o nouă etapă, aceea a personalizării de masă (mass customization), în care clientul selectează produsul dorit, dintr-o listă de opțiuni, înaintea realizării acestuia (exemplu clasic este cel al alegerii configurației autoturismului de către client pe baza unei liste de variante și apoi lansarea acestuia în producție). Cea de-a patra etapă tehnologică este aceea a producției personalizate, care începe în prima decadă a secolului XXI. În această perioadă, opțiunile produsului sunt alese de către client, cumpărate de la producător și apoi realizate cu sisteme avansate de prelucrare. Din cele de mai sus rezultă că tehnologiile

au parcurs o dezvoltare ciclică, de la producția artizanală personalizată (orientată pe individ), la producția de masă (orientată pe produs), apoi la cea personalizată de masă (orientată pe grupuri de consumatori) și revenind la producția personalizată (orientată pe consumatorul individual). Din acest punct de vedere, următoarea revoluție industrială va apărea în momentul în care fiecare consumator își va produce singur bunurile de care are nevoie, într-un timp rezonabil, utilizând tehnologii de tipul Additive Manufacturing și programele necesare pentru aceasta, descărcate din internet (Cloud). În felul acesta, ciclul prezentat în Figura 2 se încheie complet, revenindu-se la tipul de producție din comuna primitivă, în care fiecare individ își producea singur bunurile necesare.

Tendențe în domeniul tehnologiilor

În continuare vă voi prezenta câteva tendințe puse în evidență pe plan mondial în ultimii ani în domeniul tehnologiilor. Mă voi referi doar la trei domenii: vehiculele autonome; roboții avansați; tehnologiile de prelucrare prin adăugare de material (Additive Manufacturing).

Dacă acum câțiva ani domeniul vehiculelor autonome era încă un domeniu de avangardă în cercetare (Google a anunțat realizarea primului automobil autonom în anul 2010), acestea au devenit realitate sub ochii noștri. Autovehiculele autonome circulă deja pe șoselele publice, în regim de testare, atât în Statele Unite, cât și în Germania. Prin dezvoltarea și creșterea robusteții sistemelor de comunicare între entități fizice M2M (Machine-to-Machine), aplicațiile în domeniul industrial al vehiculelor autonome au devenit tot mai prezente, având un rol important în logistica din halele de prelucrare, de montaj, din depozitele de piese etc. Trecerea la un nou nivel de comunicare între subiectul uman și entitatea fizică de tip H2M (Human-to-Machine, Om-Mașină) sau mai recent B2V (Brain-to-Vehicle, Creier-Mașină) a făcut posibilă deja realizarea unui vis al omului, care până acum câțiva ani era încă de domeniul literaturii științifico-fantastice: conducerea prin puterea gândului a automobilului! Firma Nissan a prezentat anul acesta noul concept de automobil, IMx, condus prin comenzile date direct de creier sistemului de conducere al autovehiculului. Un motiv de mândrie pentru noi, ca români, este faptul că directorul care coordonează proiectul menționat este un tânăr român, cu un nume neaoș românesc: Gheorghe. Aplicațiile medicale ale acestui mod de comunicare Creier-Mașină, prin realizarea unor membre bionice, au un impact deosebit de mare pentru inserția socială a handicapaților cu paralizii sau amputări ale membrilor.

Roboții avansați, dotați cu sisteme de inteligență artificială și senzori performanți, sunt capabili să comunice între ei, dar și cu operatorul uman sau cu alte echipamente din procesul de producție, în realizarea unor sarcini complexe, să se adapteze unor situații neprevăzute, să

înțelege mediul în care acționează. Numele unor roboți humanoizi, precum ASIMO construit de Honda, Sophia construit de Hanson Robotics sau Robina construit de Toyota, ne sunt familiare [Ros 2016]. Aceștia au capacitatea să dialogheze cu omul, să-i înțeleagă gesturile și emoțiile. Roboții folosiți în industrie sunt capabili să efectueze acțiuni rapide, complexe și precise, precum ar fi acelea de montaj ale unor componente de automobil în zone greu accesibile pentru operatorul uman. Sau, mai mult, să coopereze între ei în scopul realizării unor sarcini noi, neprogramate [For 2016]. S-a dezvoltat astfel un nou domeniu al roboticii, denumit Cobică. Firma BMW din München testează deja astfel de celule de fabricație robotizate, utilizate în tehnologia de sudură a structurilor automobilelor. Este posibilă colaborarea între roboții celulei în sensul posibilității auto-reconfigurării secvențelor de lucru, astfel încât acestea să se adapteze automat la o nouă configurație a structurii automobilului, nefiind necesară reprogramarea fiecărui robot în parte.

Dintre tehnologiile avansate, dezvoltate în ultimii ani, aceea a tehnologiilor de prelucrare prin adăugare de material (Additive Manufacturing) este cea care răspunde cel mai bine cerințelor celei de-a patra revoluții industriale. Tehnologiile Additive Manufacturing reprezintă o serie de tehnologii caracterizate prin aceea că utilizează un model 3D virtual al piesei, pe care îl transformă într-un model fizic prin procese de adăugare de material. Au apărut pe plan mondial la mijlocul anilor '80, sub denumirea de tehnologii de Rapid Prototyping și s-au dezvoltat extrem de rapid în ultimele trei decade, aducând un plus de valoare și o complementaritate la tehnologiile clasice. Acestea au revoluționat domeniul tehnologiilor de fabricație și au condus la introducerea, la începutul anilor 2010, a unei noi paradigme în acest domeniu, și anume Cloud Manufacturing (prin analogie cu Cloud Computing). Tehnologiile Additive Manufacturing au aplicații în industria de automobile, aerospațială, medicală, de bijuterii, încălțăminte, arhitectură, construcții etc. Una din aplicațiile recente ale tehnologiilor de prelucrare prin adăugare de material este cea a fabricării unui automobil în cadrul expoziției International Manufacturing Technology Show (IMTS-2014) din Detroit, MI, USA. Lucrătorilor firmei Local Motors din Phoenix, Texas, le-au luat 44 de ore pentru a imprima 3D componentele automobilului, o zi pentru prelucrări mecanice de finisare și două zile pentru asamblarea altor componente precum motorul, cutia de viteze, componentele electronice, cablajele, scaunele și roțile [Pyp 2014].

Impactul social al tehnologiilor

Prima revoluție industrială a făcut ca, începând cu anul 1825, în Anglia valoarea producției industriale să o depășească pe cea a agriculturii. În același timp se produce o

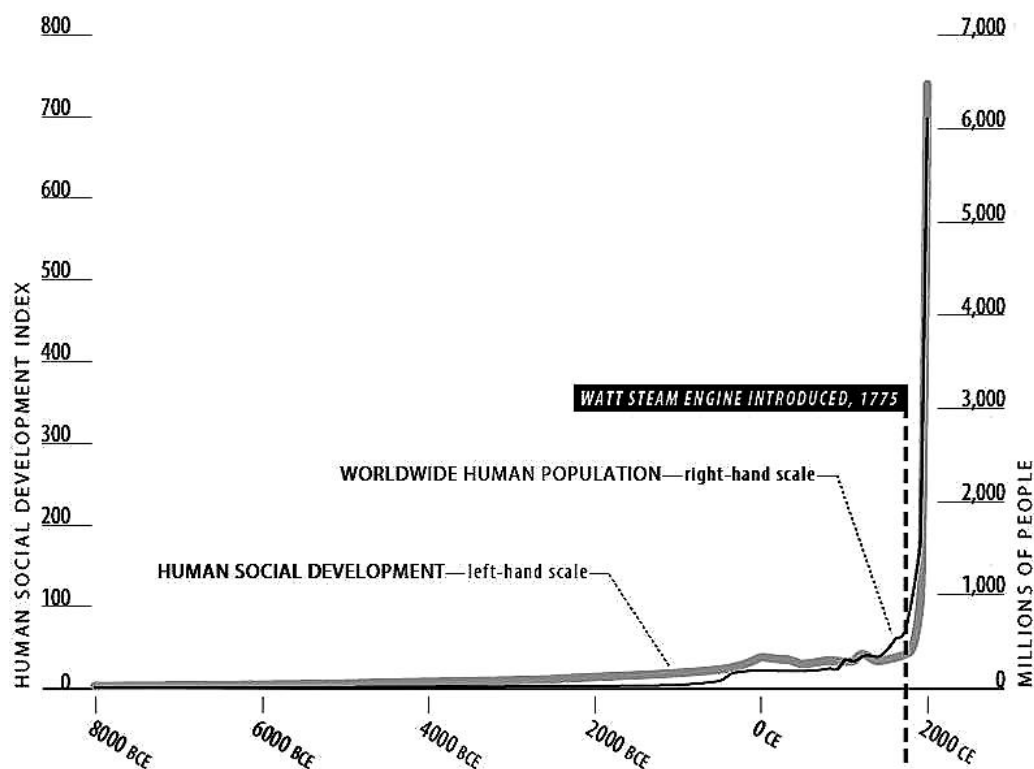


Figura 3. Impactul primei revoluții industriale asupra indexului dezvoltării sociale [Bry 2016]

schimbare radicală în ceea ce privește structura cheltuielilor populației din Anglia: dacă la începutul secolului XIX cheltuielile cu alimentația reprezentau 90% din totalul cheltuielilor de consum, la mijlocul secolului acestea reprezentau doar două treimi. În aceeași perioadă, cheltuielile cu îmbrăcămintea s-au dublat. Structura cheltuielilor populației s-a modificat în favoarea bunurilor pentru confort. Pentru a avea o imagine a impactului social al primei revoluții industriale, este relevantă diagrama din Figura 3. Aici este prezentat impactul primei revoluții industriale asupra Indicelui de dezvoltare socială a umanității și implicit asupra numărului de locuitori ai planetei.

De-a lungul istoriei, o parte dintre profesii au dispărut sau s-au transformat în altele. Tendința se va accentua în perioada următoare pe măsura creșterii vitezei de implementare a invențiilor și a noilor tehnologii în viața cotidiană. Acest lucru nu trebuie să ne sperie. Trebuie doar să precizem, cât mai devreme și cât mai realist, aceste modificări și să ne pregătim pentru a le face față prin pregătirea forței de muncă în școală, dar și prin recalificarea ei. Oricum, profesiile care cer creativitate, abilități cognitive, vor constitui pentru mult timp de aici înainte un apanaj al omului. Principalele tehnologii care vor produce mutații în structura locurilor de muncă vor fi roboții și inteligența artificială. Principalele locuri de muncă în care se vor regăsi noile tehnologii sunt cele în care se efectuează muncă fizică solicitantă sau repetitivă, respectiv

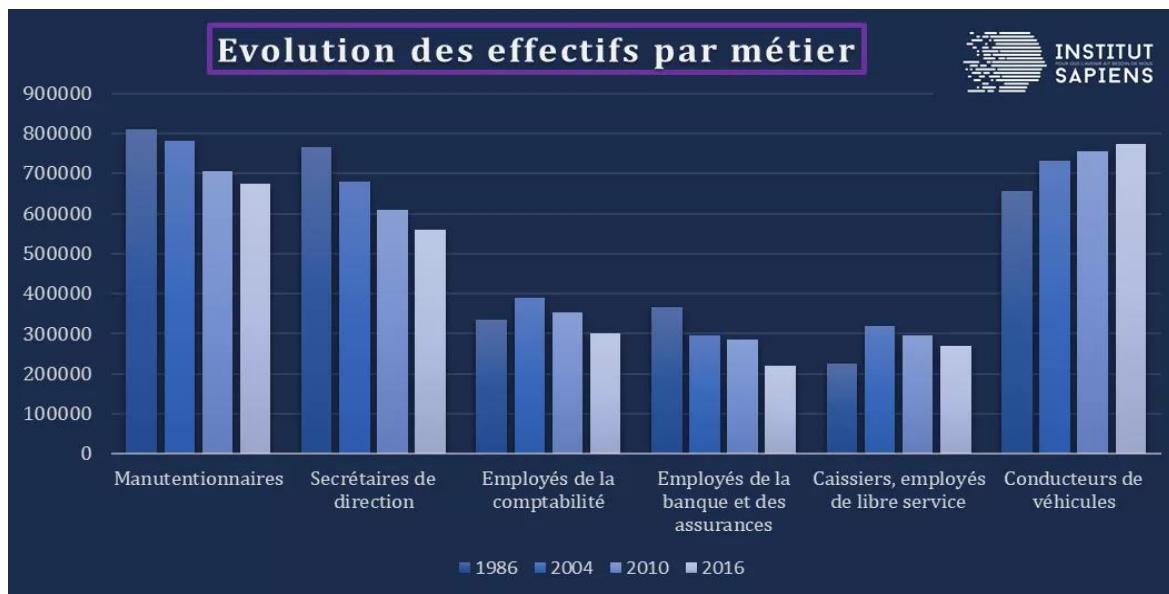


Figura 4. Evoluția numărului de locuri de muncă în câteva profesii în perioada 1986-2016 în Franța [Sap 2018]

de colectare/procesare de date. Din prima categorie fac parte meseriile din domeniul construcțiilor de mașini, metalurgiei, minier, cazare și servicii alimentare, agricultură, manipularea și distribuția produselor, transport, îngrijirea și reabilitarea bolnavilor etc. Din a doua categorie fac parte meseriile din domeniul secretariatului și arhivării, contabilității, cel bancar și al asigurărilor, traducerii, editării de texte etc. În acest sens, este sugestivă imaginea din Figura 4, în care este prezentată evoluția numărului de locuri de muncă în câteva profesii în perioada 1986-2016 în Franța, conform Institutului Sapiens [Sap 2018]. Este de remarcat în această figură creșterea numărului de conducători de autovehicule, considerată până acum vreo 10 ani profesia cea mai dificil de automatizat și de înlocuit cu un robot. Acum conducerea autonomă a devenit realitate, iar în scurt timp evoluția acestei profesii va fi similară cu a celor prezentate anterior. Deja ea a intrat în viața cotidiană și ne-am obișnuit cu bancomatele, mașinile de vândut bilete din gări sau stațiile de autobuz, automatele de vândut băuturi sau țigări, dispozitivele automate de check-in sau control al pașapoartelor din aeroporturi etc. Mai mult, am început să ne obișnuim cu conversațiile cu „roboții” care răspund la solicitarea noastră de a obține informații din domeniul bancar, al telefoniei mobile, al serviciilor de transport etc. Toate aceste „mașini” au preluat activitatea unor persoane, realizând-o, de multe ori, în condiții și la parametri mai performanți decât factorul uman. Sisteme de inteligență artificială, precum Watson, dezvoltat de IBM, sau DeepMind, dezvoltat de Google, sunt capabile să învingă campioni ai unor concursuri de cultură generală sau de jocuri de strategie (șah sau Go), sau să preia sarcinile medicului în diagnosticarea bolilor [Ski 2018b]. Mai mult, sunt capabile să

înțeleagă nu numai limbajul uman, ci și starea emoțională și caracterul interlocutorului și să formuleze răspunsurile adecvate. Implicațiile acestor sisteme vor fi observabile în următoarele câteva zeci de ani în toate domeniile de activitate: filologie (traduceri automate, analiza textelor, scrierea de texte etc.), istorie (analiza, corelarea și sinteza informațiilor din arhive, analiza artefactelor), artă (analiza prin imagistică a tablourilor, arta digitală, compunere de muzică), psihologie/psihiatrie (diagnosticarea și tratarea unor fobii sau boli psihice prin tehnici de realitate virtuală) etc. Voi prezenta trei exemple: unul din domeniul artelor și două din domeniul literaturii. Atât domeniul muzical, cât și cel al literaturii sunt domenii cu un grad de creativitate foarte ridicat. Programul EMI (Experiments în Muzical Intelligence), iar mai recent Annie, create de David Cope de la Universitatea din California, compun muzică clasică, și nu numai, de o asemenea perfecțiune încât nici publicul avizat nu poate sesiza diferența unei compoziții create de computer față de o corală de Bach sau o simfonie de Beethoven. Al doilea exemplu se referă la previziunile privind evoluția programelor de Inteligență Artificială în domeniul compunerii de lucrări literare: se estimează că până în anul 2024 vor fi funcționale programele de traducere automată a textelor; până în anul 2026 vor fi utilizabile programele de scriere de eseuri cu scop didactic, utilizabile de elevi și studenți; după anul 2050 programele de Inteligență Artificială vor fi capabile să scrie romane [Wef 2018]. Recent, un roman compus de un program de Inteligență Artificială a fost aproape de a câștiga un premiu literar în Japonia [Dig 2018]. Al treilea exemplu este din domeniul dispozitivele electronice de citit cărți. Firma Amazon urmează să doteze dispozitivul său Kindle cu senzori biometrici și de recunoaștere facială, precum și cu un program de Inteligență Artificială, ceea ce va permite evaluarea impactului fiecărei fraze sau pasaj al cărții asupra cititorului și evaluarea gradului de satisfacție al acestuia. Urmare a acestui lucru, sistemul de Inteligență Artificială îți va propune cărți care știe că-ți produc satisfacție sau interes. Impactul tehnologiilor asupra științelor exacte (matematică, astronomie, fizică, chimie, biologie) va fi direct, prin dezvoltarea unor echipamente de calcul sau experimentale tot mai complexe și mai performante. Dar cel mai spectaculos și cel mai la îndemână domeniu, pentru că ne afectează pe toți din punctul de vedere al calității vieții, este cel al medicinei. S-au dezvoltat noi domenii ale ingineriei, cum ar fi ingineria medicală, care pregătește ingineri pentru proiectarea, fabricarea și întreținerea echipamentelor medicale. Aceștia au proiectat și realizat echipamente tot mai performante, bazate pe noi principii fizice, cele mai relevante fiind cele din domeniul imagisticii și roboticii chirurgicale.

Noile echipamente de imagistică au schimbat complet modul de investigare a corpului uman în ultimele decenii, îmbunătățindu-se semnificativ rata și momentul detectării unor maladii grave. Implanturile stomatologice, utilizate în mod curent astăzi, ar fi imposibil de realizat fără

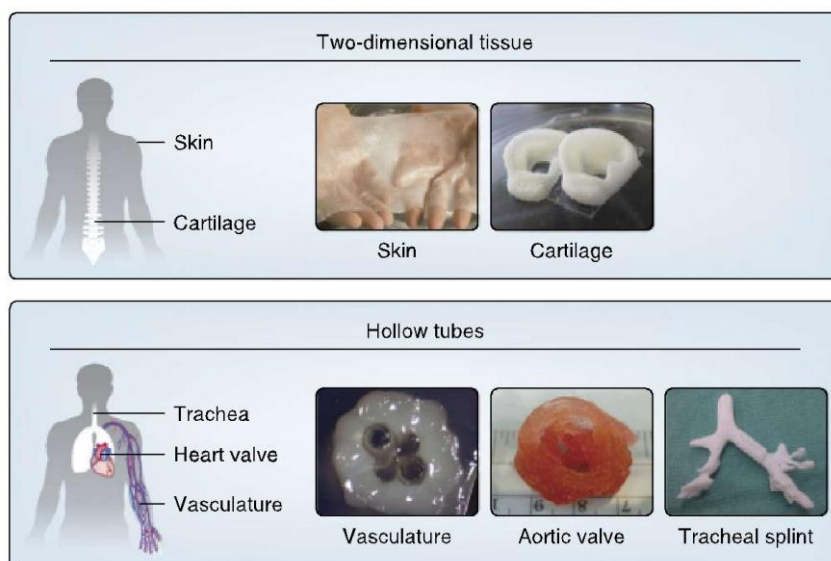


Figura 5. Exemple de organe umane obținute prin bio-imprimare [Ope 2018]

asistența imagisticii. La fel de spectaculoase sunt și aplicațiile roboților în chirurgie, care au parcurs fazele de la concept la cercetare, realizare și utilizare curentă, într-un ritm de câteva decenii. În anul 1984 a fost realizată prima intervenție chirurgicală de către

un robot. Astăzi roboții de tip da Vinci sunt deja utilizați curent în multiple tipuri de operații (de-a lungul timpului, începând cu anul 2000, fiind fabricați în peste 5000 de exemplare). Cercetătorii din ingineria materialelor au dezvoltat materiale noi biocompatibile, fapt ce a făcut posibilă realizarea de implanturi osoase, de țesuturi (recent au fost realizate țesuturi de piele artificială) sau chiar de organe artificiale. În Figura 5 sunt prezentate câteva tipuri de țesuturi care sunt realizate din materiale artificiale, prin tehnici de bio-imprimare 3D: piele; cartilaje, traheea, valve aortice, vase de sânge [See 2014].

Realizările fascinante ale tehnicii moderne și implicațiile sociale ale acestora a făcut ca mari gânditori să-și orienteze atenția asupra acestui fenomen, fiind dezvoltată o nouă direcție de cercetare în filosofie: filosofia tehnicii. Filosofi și sociologi celebri precum Ortega Y Gasset, Martin Heidegger, Jacques Ellul, Hannah Arendt s-au aplecat asupra aspectelor antropologice, etice, taxonomice ale tehnicii, precum și asupra proceselor de inovare și evoluție a tehnologiilor. Un rol important l-a avut analiza impactului social al dezvoltării noilor tehnologii și a mutațiilor pe care le produce aceasta în mentalul colectiv. Voi aminti aici doar trei din studiile celebre care au abordat acest subiect: *Die Frage nach der Technik* (Întrebarea privitoare la tehnică) al lui Heidegger, publicat în anul 1954 [Hei 1954]; *The human condition* a lui Arendt, publicat în anul 1958 [Are 1958] și *The Technological Society* a lui Ellul, publicat în traducere engleză în anul 1964 [Ell 1964]. Ulterior, în special în ultimii 20 de ani, numărul publicațiilor în acest domeniu a crescut semnificativ. Relevante sunt în acest sens sunt: *Thinking about technology*, a lui Pitt, apărută în anul 2000. [Pit 2000] și *Philosophy of Technology and*

Engineering Sciences, un voluminos tratat editat de Meijers și publicat în anul 2009, reprezentând volumul al 9-lea al celebrului *Handbook of Philosophy of Science* [Mei 2009].

Lansarea la târgul auto de la Paris din 5 octombrie 1955 a modelului de automobil avangardist DS 19 de către firma Citroën l-a fascinat pe gânditorul francez Roland Barthes într-atât încât i-a dedicat acestuia un eseu intitulat „*La nouvelle Citroën*”, inclus în volumul de eseuri *Mytologies*. Este unul din cele mai frumoase eseuri dedicate unei realizări a tehnicii moderne. Sugestivă, în acest sens, este fraza de început: „*După părerea mea, astăzi, automobilul este echivalentul destul de exact al marilor catedrale gotice: adică o mare creație a epocii, concepută cu pasiune de niște artiști necunoscuți, consumată ca imagine de un întreg popor, care, prin ea, își apropie un obiect cu desăvârșire magic.*”

Schimbările produse de dezvoltarea tehnologiilor digitale au făcut ca psihologii, sociologii și educatorii să caute să explice prin ce se diferențiază noile generații de cele educate și formate înaintea apariției acestor tehnologii. Astfel, Mark Prensky a introdus în anul 2001, în faimosul său articol *Digital Natives, Digital Immigrants* [Pre 2001], termenul de „*Digital nativ*”. Acesta a definit *nativii digitali* ca fiind tinerii născuți în ultimii 20-30 de ani și care au crescut odată cu calculatoarele, telefoanele mobile și internetul (și înconjurați de acestea). Pe cei care s-au născut înaintea acestei perioade, dar care au adaptat aceste noi tehnologii (au emigrat în această lume digitală) Prensky i-a numit „*Digital immigrants*” (*imigranți digitali*). Ulterior [Pre 2009], acesta a introdus un nou concept „*Digital wisdom*” (*Înțelepciune digitală*) care reprezintă acea capacitate a unei persoane de a utiliza noile tehnologii în scopul îmbunătățirii performanțelor sale cognitive, nu numai de a le înțelege. La fel cum electricitatea ne-a schimbat viața acum 100 de ani, tot așa se va întâmpla peste câțiva ani cu Inteligența Artificială. O mare parte dintre deciziile din viața cotidiană și din cea profesională va fi luată de sisteme care înglobează Inteligența Artificială. Este bine, este rău? Viitorul ne va da răspunsul la această întrebare.

Cealaltă față a dezvoltării tehnologiilor o reprezintă efectele lor negative. Voi menționa câteva dintre ele: o dependență a omului de tehnologie (de telefonul mobil, de calculator, de programele de Inteligență Artificială etc.), ceea ce duce la pierderea abilităților sociale; utilizarea în scop distructiv a acestora (spre exemplu a tehnologiilor militare de către teroriști); utilizarea tehnologiilor avansate pentru manipularea opiniei publice (spre exemplu, campania de manipulare anti-vaccinare sau campaniile de manipulare din India, care au dus la linșaj etc.); impactul asupra mediului (încălzirea planetară, creșterea conținutului de CO₂, deșeurile tehnologice – radioactive sau poluante); o bulversare pe piața forței de muncă etc. [Leo 2016]. Oricum, dezvoltarea tehnologiilor are două fețe: una angelică și cealaltă malefică. Una care să

ne ducă spre condiția de Zei și cealaltă care să ne ducă spre Iad. Omul va trebui să aleagă calea pe care o va urma. Din acest punct de vedere, trebuie să fim optimiști că va alege calea corectă.

Inginerii în Academia Română

Este o tradiție ca în cadrul discursului de recepție al unui nou membru titular să fie alocat un spațiu dedicat elogiului unui predecesor al său din Academia Română. Prin prezentarea, în continuare, a istoriei Secției de Științe Tehnice voi aduce un elogiu celor 150 de ingineri aleși de-a lungul timpului în Academia Română.

Primul inginer a fost ales în Academia Română în anul 1870. Acesta a fost Petrache Poenaru, personalitate complexă, spirit enciclopedic, remarcabil inginer, inventator și matematician. La scurt timp, în anul 1871, i-a urmat un inginer agronom, și anume Ion Ionescu de la Brad. În primii ani, inginerii au activat în Secția Științifică, alături de matematicieni, fizicieni, chimiști, medici, biologi, geologi. Odată cu creșterea rolului științelor exacte pe plan mondial, și implicit în România, Secția Științifică dobândește o însemnătate din ce în ce mai mare și o consolidare continuă, inclusiv prin alegerea în rândul ei a unor ingineri eminenti, în special constructori și agronomi. Astfel, în anul 1892 a fost ales membru al Academiei Anghel Saligny, unul din cei mai mari ingineri pe care i-a avut România, iar în anul 1901, Gheorghe Lahovary. Până în anul 1948, ponderea inginerilor în Academie a fost redusă, numărul total al acestora fiind 18, reprezentând un procent de sub 4% din numărul total al membrilor Academiei. Câteva nume de referință ale unor ingineri care au fost primiți în Academie până în anul 1948 au fost: Nicolae Vasilescu-Karpen –electrotehnician și fizician (1923), Gheorghe Ionescu-Șișești – agronom, (1925), Elie Radu-constructor (1926), Dionisie Ghermani-inginer mecanic, (1945), Traian Vuia-inventator (1946). Evoluția societății românești impunea o nouă structură a Academiei Române, adaptată la realitățile vremii. Prima propunere de formare a unei secții de Științe Tehnice în cadrul Academiei Române a fost făcută de Dimitrie Gusti în anul 1941, propunere amânată din cauza războiului. Abia în anul 1948, odată cu reorganizarea Academiei Române de către noul regim politic instaurat în România, se înființează o secție de Științe Tehnice și Agricole (Figura 6). Noua structură a Academiei, transformată de regimul comunist în Academia Republicii Populare Române, cuprindea șase secții împărțite la rândul lor în 25 subsecții. După anul 1948, ponderea inginerilor a crescut semnificativ, autoritățile comuniste punând accent pe științele exacte și aplicate în detrimentul științelor sociale. Astfel, în anul 1948 au fost primiți un număr de 8 membri corespondenți, iar 3 membri au fost titularizați. Aceasta primire masivă a inginerilor în Academie a avut scopul de a se forma o secție de Științe Tehnice de sine stătătoare, lucru care s-a întâmplat în anul 1955. Un an de grație pentru Secția

de Științe Tehnice a fost anul 1963, când au fost primiți 15 membri corespondenți, iar 7 membri au fost titularizați. Noii membri acopereau domenii de specialitate recent apărute (automatica, electronica etc.) sau cu tradiție în România (mecanica, aviația etc.). Secția de Științe Tehnice cuprindea astfel personalitățile de prim rang ale ingineriei românești, precum: Elie Carafoli, Ștefan Bălan, Remus Răduleț, Radu Voinea, Gheorghe Buzdugan, Ioan Anton, Aurel Beleş, Gheorghe Cartianu, George Bărănescu, Ștefan Nădășan, Corneliu Penescu, Nicolae Tipei și alții. Într-o încercare de recuperare a inginerilor din diaspora în anul 1965, respectiv 1970, sunt aleși membri titulari doi inventatori celebri pe plan mondial, George Constantinescu și Henri Coandă. Astfel, prin alegerea celor doi inventatori, alături de Traian Vuia (ales membru de onoare în anul 1946) și Aurel Vlaicu (ales membru post mortem în anul 1948), Academia Română recuperează gloriile aripilor românești. Un al doilea val de primiri în Secția de Științe Tehnice se realizează abia după revoluția din 1989, când, în doi ani succesivi (1990 și 1991), au fost primiți 13 noi membri și au fost titularizați un număr de 8 membri. În momentul de față, secția cuprinde 4 membri titulari, 7 membri corespondenți și 5 membri de onoare (doi din țară și trei din străinătate). De-a lungul celor aproape 150 de ani de existență a Academiei, un număr de 150 ingineri au pășit pragul acesteia, provenind din domenii diferite: 104 sunt ingineri mecanici, electrotehnicieni, constructori, electroniști, de calculatoare etc.; 29 sunt ingineri agronomi; 13 sunt ingineri chimiști; 5 ingineri geologi și geofizicieni. Cu toate că ponderea lor numerică în numărul total al membrilor Academiei de-a lungul timpului a fost de numai 13%, inginerii au avut un rol important în devenirea instituției de la Societatea Literară Română din 1866 la Academia Română de astăzi. Pentru a ilustra acest lucru mă voi referi la Președinții Academiei Române. Din cei 45 de președinți ai Academiei, aleși de-a lungul existenței sale, un număr de 8 au fost ingineri (15,5%), începând cu Anghel Saligny, continuând cu Cristofor

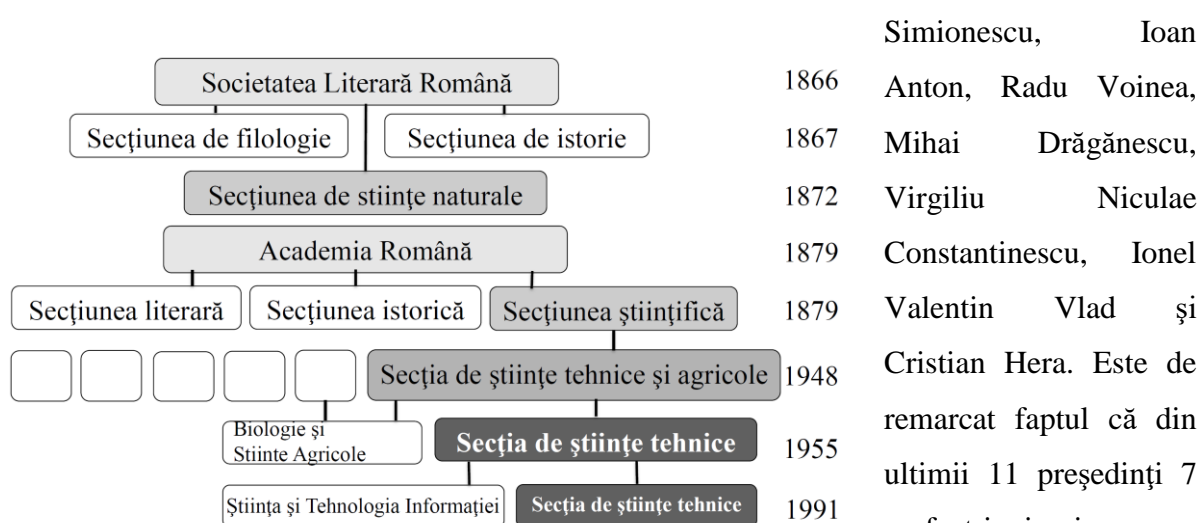


Figura 6. Evoluția secțiilor Academiei Române

actuale din societatea românească. Ponderea inginerilor în Academia Română este astăzi de 17%. Este mult, este puțin? Reflectă acest procent evoluția societății românești și tendințele globale de „tehnificare” și „computerizare”? Este corelat acest procent cu acela al ponderii inginerilor în societate și cu contribuția acestora la dezvoltarea societății? Vorbind strict cantitativ, din anul 1871 și până în prezent au fost formați în România peste 900.000 de ingineri, aceștia constituind cea mai numeroasă comunitate profesională cu pregătire superioară [Ban 2018c]. Evident că răspunsurile la întrebările de mai sus sunt diferite, în funcție de zona din care vin.

Dar, de oriunde ar veni, această parte a inteligenței creatoare românești, cu atâtea performanțe admirabile, pe care se străduiesc în zilele noastre să le consolideze și să le sporească, merită elogiul nostru, al tuturor. În ce mă privește, sunt mândru că aparțin acestei comunități și că mă pot asocia suflatește și prin tot ceea ce fac eforturilor exemplare ale inginerilor puse generos în serviciul națiunii române.

Bibliografie

- [Als 1630] Alsted J.H., Encyclopedia, Herborn, 1630.
- [Are 1957] Arendt H., The human condition, University of Chicago Press, Chicago, 1958.
- [Axe 2008] Axenciuc V., Formarea sistemului industrial modern în România, 1859-1914. Demarajul industrializării, Editura Academiei Române, București, 2008.
- [Ban 2018a] Banabic D., Istoria Tehnicii și Industriei Românești. Istoria electrotehnicii, energeticii, transporturilor și învățământului tehnic, Editura Academiei Românești, 2018.
- [Ban 2018b] Banabic D., Istoria Tehnicii și Industriei Românești. Istoria mecanicii, tehnicilor de prelucrare și a construcțiilor, Editura Academiei Românești, 2018.
- [Ban 2018c] [Ban 2018] Banabic D., Axenciuc V., Evoluția numărului de absolvenți de învățământ tehnic din România în perioada 1871-2016, În: Educația și cercetarea în România, Editura Casa de Știință, Cluj Napoca, 2018.
- [Bar 1957] Barthes R., La nouvelle Citroën, In: Mythologies, Éditions du Seuil, Paris, 1957 (tradusă de Editura Institutul European, Iași, 1997).
- [Ber 2003] Evoluția societății și economiei în statele românești (1848-1877), În: Istoria românilor (Vol. VII, Tom I), (Coordonator Berindei D.), Editura Enciclopedică, București, 2003, p. 595-631.
- [Big 1829] Bigelow J., Elements of Technology, Boston Press, Boston, 1829.

- [Blo 1661] Blount T., Glossographia, London, 1661.
- [Bry 2016] Brynjolfsson E., McAfee A., The second machine age, Norton, New York, 2016.
- [Dig 2018] <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/japanese-ai-writes-novel-passes-first-round-national-literary-prize/>
- [Ell 1964] Ellul J., The Technological Society, Vintage Books, New York, 1964.
- [For 2016] Ford M., The Rise of the Robots, Oneworld, London, 2016.
- [Gui 1856] Guillery H., Technologie (traducere din limba franceză de Alexe Marin), Tipografia Colegiului Sfântul Sava, București, 1856.
- [Har 2018] Harare Y.N., Homo Deus. Scurtă Istorie a Viitorului, Editura Polirom, Iași, 2018.
- [Hei 1954] Heidegger M., Die Frage nach der Technik, In: Vorträge und Aufsätze, Neske, Pfullingen, p.5-36. 1954.
- [Kai 2006] Kaiser W., König W., Geschichte des Ingenieurs, Hanser, München, 2006.
- [Leo 2016] Leonhard G., Technology vs. Humanity, Fast Future Publishing Ltd., 2016.
- [Lex 1965] Lexiconul Tehnic Român, (Vol. 17), (Ed. Răduleț R.), Editura Tehnică, București, 1965.
- [Mei 2009] Meijers A., (Ed.), Philosophy of Technology and Engineering Sciences, Elsevier, Amsterdam, 2009.
- [Ope 2018] <http://www.openbiomedical.org/>
- [Pai 1906] Păianu N.I., Industria Mare. 1866-1906, A. Baer, București, 1906.
- [Pit 2000] Pitt J. C., Thinking about technology: foundations of the philosophy of technology, Seven Bridges Press, New York, 2000.
- [Pre 2001] Prensky M., Digital Natives, Digital Immigrants (Part 1), In: On the Horizon, Vol 9, 2001, p.1-6.
- [Pre 2009] Prensky M., H. Sapiens Digital: From Digital Immigrants and Digital Natives to Digital Wisdom, 2009.
- [Pyp 2014] Pyp J., World's first three-dimensional printed car made in Chicago, Scientific American, 12 Sept 2014.
- [Ros 2016] Ross A., The Industries of the Future, Simon and Schuster, London, 2016.
- [Rue 2015] Ruessmann M., et al, Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, The Boston Consulting Group, 2015.
- [Sch 2016] Schwab K., The Fourth Industrial Revolution, WEF, Geneve, 2016.
- [Sch 2018] Schwab K., Shaping the Fourth Industrial Revolution, WEF, Geneve, 2018.
- [Sap 2018] <https://www.institutsapiens.fr/top-5-des-metiers-en-voie-de-disparition/>
- [See 2014] Seedhouse E., Beyond Human, Springer, Heidelberg, 2014.

- [Ski 2018a] Skilton M., Hovsepian F., The 4th Industrial Revolution, Palgrave, London, 2018
- [Ski 2018b] Skinner C., Digital Human, Wiley, Hoboken, NJ, USA, 2018
- [Sta 2015] <https://www.statista.com/chart/3559/the-countries-with-the-most-engineering-graduates/>
- [Ver 1984] Verin H., Le mot: ingénieur, Culture Technique, 12(1984), p.18-27.
- [Wef 2018] <https://www.weforum.org/agenda/2018/03/timeline-of-creative-ai/>
- [Zan 1970] Zane Gh., Industria din România în a doua jumătate a secolului al XIX-lea: despre stadiile premergătoare industriei mecanizate, Editura Academiei RSR., București, 1970.