

Silvicultura 5.0: Înmugurește inteligența artificială

C. Palaghianu, A.I. Curtu

Palaghianu C., Curtu A.I.L., 2024. Forestry 5.0: Artificial intelligence is flushing. Bucov. For. 24(2): 101-105.

Abstract. Forestry 5.0 marks a new era of integrating artificial intelligence (AI) into the forestry sector in the context of profound technological transformations. The concept derives from Industry 5.0, which promotes reconciliation between humans and technology, emphasizing human values within this progress. Although forestry has traditionally been more conservative in adopting new technologies, AI is making its way and is already being used for forest monitoring and management. Advanced algorithms facilitate, for example, the analysis of forest structure in the context of climate change. However, integrating AI tools faces challenges such as data homogeneity, high costs, and the need for specialist training.

AI has immense potential in forestry education, personalizing the learning process and providing real-time feedback. Teachers will become facilitators of education, and new technologies will enhance both the teaching experience and student outcomes.

Nevertheless, AI also raises concerns regarding its impact on the labour market, high resource consumption, and algorithm transparency. A balanced approach is essential to ensure these technologies' sustainability, safety, and social acceptance.

Forestry 5.0 does not imply replacing foresters but rather creating intelligent tools to support the profession. Democratizing access to AI and responsibly integrating it is key to a successful transition. The future of forestry should not be limited to technologies and algorithms, and the essence of this profession should be preserved by combining innovation with traditional values.

Keywords: Forestry, Industry 5.0, AI.

Authors. Ciprian Palaghianu (cpalaghianu@usm.ro) - "Ștefan cel Mare" University of Suceava, Faculty of Forestry, 13 Universității, 720229 Suceava, Romania; Alexandru Lucian Curtu - "Transilvania" University of Brașov, Faculty of Silviculture and Forest Engineering, Sirul Beethoven, no. 1, 500123 – Brașov, Romania

Manuscript received November 27, 2024; revised December 10, 2024; accepted December 14, 2024; online first December 31, 2024

Tehnologiile continuă să evolueze într-un ritm foarte rapid (de ex. inteligența artificială), adoptarea și folosirea lor în orice sector de activitate fiind o chestiune de timp, chiar dacă ne place sau nu. Istoria recentă ne arată că cei care s-au opus utilizării noilor descoperiri tehnologice au avut de pierdut. Își mai imaginează cineva astăzi un mod de viață fără electrici-

tate, computere sau internet? Simțim vibrația unei noi ere și trăim fără îndoială începuturile unei revoluții tehnologice – utilizarea pe scară largă a inteligenței artificiale (IA) – care poate eficientiza procese și elimina activitățile repetitive efectuate de om.

În prezent vorbim deja de noi paradigme care marchează avansul tehnologic. Deși în

2011 era anunțat noul concept Industrie 4.0, corespunzător celei de a patra revoluții industriale, peste abia zece ani Comisia Europeană a anunțat Industria 5.0, un concept, care spre deosebire de cel precedent, indus de tehnologie, se dorește a fi condus de valori orientate spre umanitate, marcând o eră a reconcilierii între om și mașină (Xu et al. 2021). Digitalizarea tehnologiilor a avansat spre o convergență a sistemelor ciber-fizice, iar IA va reprezenta un pilon al consolidării noului cadru 5.0 (Fosso-Wamba și Guthrie 2024).

Cu siguranță, revoluția tehnologică generată de IA este inevitabilă și nu va ocoli sectorul forestier. În ultimii ani progresele tehnologice au început să fie tot mai prezente și silvicultura se pare că va sări peste unele etape, implementând direct tehnologii împrumutate parcă din viitor. Mult timp silvicultura a avut o întârziere tehnologică semnificativă prin comparație cu alte sectoare de activitate. Lucru care este de înțeles gândindu-ne la ciclurile mari de producție, adesea de peste un secol, de zonele accidentate sau izolate în care este profesată sau de practicile și tehnologiile tradiționale asociate acestei profesii. Desigur, și sectorul forestier resimte efervescența schimbărilor și au apărut voci care subliniază importanța dezvoltării conceptului Forestry 5.0 sau Silvicultură 5.0 (Holzinger et al. 2024).

Ne întrebăm ce s-a întâmplat cu Silvicultura 4.0, dar se pare că noile cadre 4.0 și 5.0 vor co-exista, diferența nefiind neapărat de ordin tehnologic, ci de modul în care vom dirija tehnologia pentru a obține rezultate care să răspundă noilor nevoi de responsabilitate orientate spre umanitate.

Sectorul forestier nu s-a grăbit, în general, să îmbrățișeze noile tehnologii. Pădurile au fost considerate refugii în care ecoul progresului ajungea cu întârziere. Silvicultura preferă adesea metode mai ancorate în tradițional, dar noile schimbări e posibil să penetreze carapacea relativ conservatoare a acestui domeniu, transformând procese, norme sau cutume.

Observăm controversile stârnite în jurul implementării instrumentelor care utilizează IA 102

și efectele disruptive ale acestor noi tehnologii în întreaga societate. Inteligența artificială vine cu avantaje solide legate de eficiență și productivitate, automatizând sarcini repetitive și periculoase, cu efecte pozitive directe de reducere a costurilor. Capacitatea de investigație sau cea creatoare a IA începe să fie tot mai mult utilizată, precizia recomandărilor sau soluțiilor conducând la decizii îmbunătățite. Per total, IA va conduce la un impact semnificativ asupra vieții de zi cu zi, având credința că beneficiile vor depăși dezavantajele, în ciuda provocărilor implementării sau îngrijorărilor legate de impactul asupra pieței muncii. Îngrijorări reale, considerând că un raport Goldman Sachs (Hatzius, et al. 2023) apreciază că circa 300 de milioane de locuri de muncă ar putea să dispară la nivel global până în 2030, ca urmare a implementării unor instrumente IA. Desigur, există și reversul medaliei, transformările IA conducând în aceeași măsură la crearea de noi oportunități de angajare.

Se acceptă că IA are deja un impact semnificativ asupra societății, iar în viitor acesta poate deveni radical. Pe baza intensității transformativă a IA, se pot distinge mai multe niveluri, ținând cont de potențialul de impact societal. În cazul unui domeniu particular, cum ar fi silvicultura, unii autori identifică așa numita inteligență artificială îngust transformativă (Narrowly Transformative AI), ce reunește tehnologiile de IA cu potențialul de a conduce la o schimbare practic ireversibilă, concentrată în principal într-un anumit domeniu sau sector al societății (Gruetzemacher și Whittlestone 2022).

Deși Kourtz (1990), a descris într-o lucrare de acum peste trei decenii impactul pe care l-ar putea avea inteligența artificială asupra managementului forestier, în ceea ce privește creșterea eficienței și capacității decizionale, probabil că nu și-ar fi închipuit dezvoltarea explozivă și la o scară atât de largă a tehnologiilor ce implică inteligența artificială.

Sunt deja foarte multe utilizări ale IA care au deja un impact asupra sectorului forestier. Potențialul este imens în multiple direcții: noile tehnici de IA îmbunătățesc gestionarea pă-

durilor prin evaluarea și monitorizarea resurselor forestiere (Kulicki et al. 2024, Rodrigues et al. 2024). Rețelele vaste de senzori (Internet of Things - IoT), colecțiile largi de date și instrumente open-source permit utilizarea eficientă a algoritmilor IA, cu aplicații în analiza structurii pădurilor, prognozarea dinamicii forestiere în condițiile modificărilor climatice sau evaluarea riscurilor. Totuși, există provocări, precum omogenitatea datelor și disponibilitatea lor pentru mai multe regiuni, costurile ridicate și integrarea cu sistemele de gestionare existente, inclusiv pregătirea unor specialiști înalt calificați, iar inerția sectorului forestier, transparența scăzută a unor modele IA sau diferențele mari dintre modele și metodele tradiționale de evaluare complică validarea rezultatelor, limitând adoptarea rapidă a unor tehnologii IA în practica silvică.

În cercetarea silvică potențialul de valorificare al IA este imens în ceea ce privește modelarea, analiza de tipare și generarea unor proiecții pe baza acestor analize. Data mining, deep learning sau ușurința de a manipula seturile imense de date ale colecțiilor big data reprezintă avantaje considerabile, care vor putea genera cunoaștere (Fosso-Wamba și Guthrie, 2024), inclusiv în domeniul forestier sau în domeniile adiacente.

Dar nu ne rezumăm la simpla preluare a informațiilor despre pădure, pornind de la pixeli spre arbori și cifre. Acestea constituie abia începutul. IA îmbobocește și această transformare profundă ne poate lua pe nepregătite, pentru că IA se dezvoltă cu o viteză exponențială. În decursul vieții noastre nu am mai văzut o astfel de tehnologie care să avanseze atât de repede și să aibă un impact atât de profund asupra societății și pieței muncii.

Desigur, silvicultura pare oarecum ferită de impactul IA, fiind o meserie în general asociată cutumelor, tradiționalului, forței și activității fizice. Pare puțin izolată de influența transformatoare a IA, dar perspectiva se modifică rapid și vedem tehnologii care au potențialul de a pătrunde chiar și în universul pădurilor din zone accidentate sau izolate. Chiar această

problemă a izolării pare să o rezolve noua tehnologie, extinzând capacitatea specialiștilor de a monitoriza sau evalua suprafețe. Coroborată cu noua tendință actuală ce arată o disponibilitate mai redusă pentru activitatea în aceste zone, lipsa forței de muncă sau preferința spre meserii mai „ușoare”, noile unelte ale IA pot deveni tot mai căutate sau frecvent folosite.

Noile tehnologii inteligente nu vor elimina silvicultorul, dar cu siguranță vor transforma această profesie și vor fi create noi oportunități de angajare. În prezent, există un decalaj consistent între potențialul instrumentelor IA și implementarea acestora în sectorul forestier, ca urmare a unor limitări logistice, de infrastructură sau a condițiilor de mediu specifice. Dar fluxul tehnologiei IA poate fi dirijat, în acord cu paradigma Silviculturii 5.0 spre o integrare a umanului în aceste procese, promovând interacțiuni cu IA care să fie sigure, securizate și eficace (Holzinger et al. 2024).

Ne imaginăm un viitor care nu se va rezuma la schimbarea modalității de a interacționa sau evalua pădurea, ci va modifica semnificativ și învățământul silvic.

Cu siguranță IA are potențialul de a revoluționa educația, personalizând și individualizând actul de predare, cu impact direct asupra rezultatelor învățării.

Democratizarea cunoașterii și noile instrumente IA pot să conducă la temerea că va avea loc o pierdere a raportului de cunoaștere între cel ce educă și cel care este educat, dar educatorul în această nouă paradigmă educațională va trebui să-și învețe discipolii să se raporteze corect la informație (David 2022).

Profesorul nu va dispărea, ci va deveni un facilitator al educației, cu atât mai mult în cazul specializărilor care implică activități de teren și o componentă practică importantă. Cred că atunci când analizăm impactul IA asupra educației forestiere trebuie ținut cont și de vocația și profilul studenților, care provin, de cele mai multe ori, din comunități rurale, fiind mult mai ancorați în experiența activităților fizice sau mai apropiați de activitățile desfășurate în natură. Rolul de facilitator al transferului

de abilitați și competențe va rămâne exclusiv al profesorului, dar inteligența artificială va fi instrumentul ce va permite cadrelor didactice să acceseze resurse diferite și să își ajusteze rapid strategiile de predare, luând în considerare punctele forte sau carențele în învățare ale studenților. Tehnologiile bazate pe inteligența artificială pot genera feedback în timp real celor implicați și oferi o experiență de învățare mai personalizată și mai atractivă. De aceea potențialul transformativ al inteligenței artificiale în educație este enorm și poate îmbunătăți semnificativ rezultatele învățării, precum și implicarea studenților și profesorilor.

Desigur, avantajele inteligenței artificiale legate de identificare unor tipare, prognoza unor tendințe sau creșterea eficienței sau productivității sunt evidente, dar există în același timp și atitudini reticente sau chiar îngrijorări legate de impactul pe care IA îl va avea asupra unor domenii sau aspecte ale societății.

În decursul timpului, toate tehnologiile revoluționare au avut o putere disruptivă și au produs neliniște cu privire la capacitatea de adaptare a societății. Sunt îngrijorări întemeiate legate de efectele și implicațiile, adesea în cascadă, ale transformărilor generate de IA, care depășesc temerea din epoca victoriană că o călătorie cu trenul ar putea cauza leziuni ale creierului. Societatea a avut întotdeauna o abordare dihotomică de întâmpinare a noului, care a inclus și scepticismul, iar IA nu face excepție, având atât discipoli, cât și oponenți vehemenți.

Trebuie analizate și temerile legate de consumul mare de energie în cazul antrenării sau folosirii unor agenți IA, consumul unor resurse limitate pentru producerea sau funcționarea marilor ferme de calculatoare, generarea de cantități mari de deșeuri electronice, sau unele îngrijorări legate de transparența, sustenabilitatea sau etica modului de folosire a instrumentelor IA.

Cu atât mai mult, atunci când vorbim de silvicultură și managementul unor resurse naturale, trebuie analizat impactul asupra mediului, fiind nevoie de o integrare echilibrată a

tehnologiei în practicile curente și o abordare responsabilă, cu reglementări documentate și practici etice și eficiente energetice.

Silvicultorii, cu o pregătire solidă în ecologie și științele biologice sunt conștienți că evoluția îi elimină pe cei care nu se adaptează. Iar Silvicultura 5.0 nu va veni, ci este deja prezentă. Asistăm la apariția primilor muguri, desigur, dar suntem deja pe un drum fără întoarcere. Vorbim de transformări ireversibile determinate de utilizarea noilor tehnologii IA. Și trebuie să încercăm să asimilăm noua revoluție tehnologică în universul nostru forestier, uneori destul de rigid și rezistent la schimbare, pentru a putea să mergem mai departe. Este esențială democratizarea instrumentelor IA în silvicultură prin asigurarea accesibilității acestora managerilor sau practicienilor forestieri cu niveluri diferite de experiență tehnică.

Cadrul 5.0, inclusiv în ceea ce privește silvicultura, presupune dezvoltarea instrumentelor IA centrate pe oameni și nu pe înlocuirea acestora. Această tranziție organică spre Silvicultura 5.0 necesită o abordare multidisciplinară care implică specialiști în tehnologia informației și silvicultură, inclusiv practicieni și factori de decizie, care să conducă spre un avans tehnologic sustenabil pentru sectorul forestier. Este esențial ca în această transformare să se asigure un echilibru între creșterea productivității pădurilor, conservarea biodiversității, acceptarea socială, siguranța și satisfacția lucrătorilor (Holzinger et al. 2024).

În final, IA ne pune la dispoziție un set de unelte foarte convenabile și disruptiv de utile, care vor influența profund activitatea noastră de gestionare durabilă a pădurilor, precum și cea de formare a viitorilor specialiști în silvicultură. Chiar dacă revoluția a început, rămâne să vedem cum dorim să dirijăm energia transformării profunde a IA spre anumite subdomenii sau direcții ale silviculturii. Fluxul transformării va fi masiv și singura formă de răspuns a silviculturii va fi legată de dirijarea acestei energii și de potențialul de adaptare. Trebuie să ne întrebăm, în mod onest, ce ne dorim de la IA? Pentru că noi putem să imaginăm calea

pe care dorim să o urmăm astfel încât să nu ne îndepărtăm de esența profesiei de silvicultor. Mugurii IA se deschid și depinde de noi cum să integrăm aceste noi unelte în profesia noastră și să șlefuiim conceptul Silviculturii 5.0. Viitorul silviculturii nu este unul scris în cod binar și ne dorim mai mult decât păduri “inteligente”, drone, pixeli și algoritmi „verzi”.

Bibliografie

- David D. 2022. Noua educație și revoluția 4.0+. Dilema veche, nr. 972. <https://dilemaveche.ro/sectiune/tema-saptamanii/noua-educatie-si-revolutia-40-2222181.html> [accesat în 18 noiembrie 2024]
- Fosso-Wamba S., Guthrie C. 2024. Artificial intelligence and industry 4.0 and 5.0: a bibliometric study and research agenda. *Procedia Computer Science*, 239, 718-725.
- Gruetzemacher R., Whittlestone J. 2022. The transformative potential of artificial intelligence. *Futures*, 135, 102884.
- Hatzius J., Briggs J., Kodnani D., Pierdomenico G., 2023. The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth. Goldman Sachs - Global Economics Analyst. <https://www.gspublishing.com/content/research/en/reports/2023/03/27/d64e052b-0f6e-45d7-967b-d7be35fabd16.html> [accesat în 18 noiembrie 2024]
- Holzinger A., Schweier J., Gollob C., Nothdurft A., Hasenauer H., Kirisits T., Häggström C., Visser R., Cavalli R., Spinelli R., Stampfer K., 2024. From Industry 5.0 to Forestry 5.0: Bridging the gap with Human-Centered Artificial Intelligence. *Current Forestry Reports*, 10, 442-455, 10.1007/s40725-024-00231-7.
- Kourtz P. 1990. Artificial intelligence: a new tool for forest management. *Canadian Journal of Forest Research*, 20(4), 428-437.
- Kulicki M., Cabo C., Trzciński T., Będkowski J., Stereńczak K. 2024. Artificial Intelligence and Terrestrial Point Clouds for Forest Monitoring. *Current Forestry Reports*, 11(1), 5.
- Rodrigues W. G., Vieira G. S., Cabacinha C. D., Bulcão-Neto R. F., Soares F. 2024. Applications of artificial intelligence and LiDAR in forest inventories: A Systematic Literature Review. *Computers and Electrical Engineering*, 120, 109793.
- Xu X., Lu Y., Vogel-Heuser B., Wang, L. 2021. Industry 4.0 and Industry 5.0 - Inception, conception and perception. *Journal of manufacturing systems*, 61, 530-535.