

SPORIREA COMPETITIVITĂȚII ÎN SECTORUL AGRICOL PRIN TEHNOLOGIE: DE LA TRADIȚII SPRE AGRICULTURA 4.0

Adrian COJOCARU, Consultant Independent
în domeniul businessului cu fructe, doctorand,
Academia de Studii Economice din Moldova,
E-mail: cojocaru.adrian.rwch@ase.md
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1221-892X>

DOI: <https://doi.org/10.36004/nier.cecg.I.2024.18.35>

Abstract. *The growth of the population on Earth, increasing demand for affordable food, rising costs of production factors, labour shortage in farming; all these lead to huge transformations in the agricultural sector. Artificial intelligence is increasingly applied in precision agriculture and the robotization of farming process. Similarly, block-chain technologies contribute towards increasing the efficiency of agribusiness management and ensuring the products traceability. The purpose of this research is to identify the main trends at the global level in the field of technologies that have a decisive impact on increasing agricultural productivity and competitiveness, as well as to understand how much the Republic of Moldova is integrated in these trends. The research methodology was focused on the analysis of the works regarding the impact of technologies on agricultural competitiveness, in-depth interviews with agricultural producers and technology suppliers from the Republic of Moldova, as well as the study of online sources showing how the respective technologies are implemented. Although the Republic of Moldova is not among the pioneers in terms of the development of intelligent solutions for agriculture, there are solid premises in the country for an accelerated transition to Agriculture 4.0.*

Keywords: *agri-food sector, farm management, precision agriculture, competitiveness, agriculture 4.0, Moldovan agriculture, artificial intelligence, robots.*

JEL: O30, O33, Q10, Q13, Q18

UDC: 338.439.5:339.137.2](478)

Introducere. Agricultura este coloana vertebrală a producției alimentare globale și a stabilității economice. Fiind o sursă importantă de materie primă, agricultura nu este doar crucială pentru dezvoltarea industriilor prelucrătoare sau creștere economică în general, ci oferă și mijloace de trai pentru milioane de oameni din întreaga lume. Dezvoltarea agricolă are impact care se extinde dincolo de volumul producției globale. Ea influențează securitatea alimentară, reducerea sărăciei, climatul social și bunăstarea generală.

Populația Terrei a ajuns la 1 miliard abia la începutul sec. XIX, iar la moment suntem cca 8 miliarde pe glob și va fi nevoie doar de câteva decenii ca să fie depășită borna de 10 miliarde. Pe de altă parte, ponderea celor implicați în agricultură a fost

mereu în descreștere. Dacă anterior cea mai mare parte a omenirii era într-un fel sau altul implicată în agricultură, la moment ponderea celor care practică agricultura ca sursă de existență nu depășește 25% la nivel global (Roser, 2023), iar în țări precum Marea Britanie cei angajați în agricultură constituie doar cca 1% din totalul angajaților (DEFRA, 2024).

Fiind propulsate de creșterea calității factorului uman, economiile dezvoltate au devenit extrem de tehnologizate, iar sectorul terțiar al acestora constituie principalul motor de creștere economică. Acesta, însă nu înseamnă că țările industrializate și cu un sector terțiar puternic sunt gata să cedeze pozițiile în sectorul agricol țărilor în curs de dezvoltare. Având costuri mai mare pentru forța de muncă, producătorii agricoli din aceste țări caută intensiv soluții de a compensa acest dezavantaj competitiv prin tehnologizarea masivă a agriculturii implementând principiile Agriculturii Inteligente (Smart Farming) contribuind la tranziția spre ceea ce în termeni moderni se numește Agricultură 4.0.

Luând în considerare avantajele competitive bazate pe resursele naturale disponibile, inclusiv solul fertil, abundența de zile însorite și temperaturi prielnice agriculturii, tradițiile convertite în know-how, proximitatea principalelor piețe de consum cu capacitate sporită de plată, dezvoltarea agriculturii orientate exportului pare a fi un domeniu promițător pentru dezvoltarea economică a Republicii Moldova. Mai mult ca atât, produsele agricole reprezintă deja cel puțin o treime din exporturile țării, iar agricultura oferă un loc de muncă fiecărui al cincilea angajat la nivel național (BNS, 2024).

Odată cu obținerea statutului de candidat în iunie 2022 și demararea procesului de negocieri pentru aderare la Uniunea Europeană în decembrie 2023, sporirea competitivității sectorului agricol moldovenesc devine o sarcină critică pentru a putea face față circumstanțelor acestei piețe. Pe de o parte cu un consum anual de produse alimentare în valoare de peste 1 trilion USD, UE este una dintre cele mai mari piețe de consum la nivel global (Eurostat, 2024), ceea ce reprezintă o imensă oportunitate pentru sectorul agricol moldav. Pe de altă parte, însă, pe cât de mare este această piață, pe atât este de sofisticată din punct de vedere a standardelor de calitate aplicate, cerințelor consumatorilor, dar și a luptei concurențiale.

Totodată, merită de considerat că sectorul agricol moldav se confruntă cu provocări semnificative: depopularea și îmbătrânirea satelor care a afectat disponibilitatea de forță de muncă pentru agricultură; schimbările climatice care necesită implementarea unor practici durabile; problemele de logistică și pierderea unor piețe tradiționale cauzate de agresiunea militară a Rusiei asupra Ucrainei și necesitatea de reorientare spre alte piețe cu cerințe mai stricte față de practicile agricole.

În contextul expus mai sus, considerăm că tranziția la Agricultură 4.0 merită toată atenția persoanelor de decizie din sector, deoarece adoptarea sau neadoptarea soluțiilor Agriculturii Inteligente în Republica Moldova poate avea impact determinant asupra gradului de competitivitate a produselor autohtone pe piețele internaționale. Prin urmare scopul acestui articol este de lista principalele direcții de transformare a agriculturii la nivel global, totodată încercând să identificăm pe cât

de integrată este Republica Moldova în tendințele din domeniu și ce ar trebui de întreprins pentru a stimula dezvoltarea în această direcție.

Sinteza bibliografică. Mai mulți autori din domeniul economiei consideră că sectorul agricol este printre puținele domenii care ar permite economiilor în curs de dezvoltare să concureze la nivel internațional (Białowa s, 2022). Totuși, pentru a-și proteja piețele, economiile dezvoltate impun anumite bariere. Acestea, de regulă, sunt de ordin tehnic și țin de standardele de calitate și siguranță alimentară, origine și trasabilitate a mărfurilor sau de marcarea a produselor ca fiind obținute în condiții prietenoase mediului de o manieră etică și social-responsabilă (Mohan et al, 2012).

Agricultura inteligentă oferă soluții pentru a putea face față cerințelor piețelor internaționale. Pe lângă posibilitatea de a spori productivitatea și obține costuri per unitate mai mici, tehnologiile inteligente permit reducerea impactului negativ asupra mediului (Walter et al, 2017), ceea ce implicit ajută și la depășirea barierelor menționate mai sus.

Odată ce, în virtutea amplasării geografice, majoritatea țărilor în curs de dezvoltare sunt și cel mai mult afectate de schimbările climatice, tranziția la Agricultura 4.0 este văzută și ca o soluție de a face față provocărilor de mediu, precum și de a asigura securitatea alimentară la nivel global (FAO, 2024).

Promotorii soluțiilor inteligente din țară consideră că această tranziție este indispensabilă și pentru asigurarea competitivității agricole moldovenești (Agrobiznes.md, 2024). Tehnologiile agricole inteligente permit o utilizare mai eficientă a resurselor, comparativ cu practicile agricole tradiționale care adeseori duc la risipă de apă, îngrășăminte și energie. De asemenea agricultura inteligentă ajută la conservarea resurselor prin aplicarea precisă a inputurilor acolo unde este necesar, ceea ce reduce presiunea asupra mediului. Astfel, agricultura inteligentă este văzută nu doar ca o modalitate de a face față schimbărilor climatice, dar și de a minimiza efectele negative care duc la aceste schimbări. Prin robotizare, și automatizare a sarcinilor e posibilă sporirea productivității muncii, crearea condițiilor de muncă mai bune prin reducerea sau evitarea muncilor grele. Toate acestea permit obținerea unui nivel mai înalt a standardelor de calitate, ceea ce oferă mai multe oportunități de comercializare la nivel internațional (TEKTELIC, 2024).

Metodologia cercetării. Sectorul IT (tehnologiilor informaționale) s-a bucurat de o dezvoltare fulminantă pe parcursul ultimilor decenii, iar de aproximativ 10 ani ne aflăm în toiuł celei de a IV Revoluții Industriale (McKinsey, 2024), care influențează radical afacerile în toate domeniile, aducând în uz și termeni precum Industria 4.0 sau Agricultura 4.0.

Având drept scop principal identificarea impactului tehnologiilor digitale asupra competitivității produselor agricole, în prima fază a cercetării au fost studiate principalele lucrări științifice referitoare la aplicativitatea acestora pentru sectorul agricol. Totuși, studiind materialele bibliografice respective, s-a constatat că unele tehnologii avansează mai rapid decât acestea ar putea fi descrise în literatura de specialitate. Astfel, cea mai mare parte a cercetării s-a axat pe studiarea informației

publicate online chiar de companiile inventatoare și furnizoare de tehnologii inteligente pentru agricultură.

Pentru a înțelege în ce măsură agricultura din Republica Moldova beneficiază de soluțiile inteligente existente la moment, precum și care este percepția celor care activează în sector față de problematica abordată în cadrul cercetării, au fost desfășurate interviuri în profunzime cu 2 producători mari, recunoscuți ca lideri în implementarea tehnologiilor noi pentru agricultură. Această informație a fost complimentată de alte 3 interviuri în profunzime cu furnizori de tehnologii pentru agricultura inteligentă, precum și altul cu managerul unei asociații de profil. În cadrul interviurilor respective am putut determina deschiderea celor din sector pentru inovații, nivelul de suport oferit din partea statului, precum și modul în care țara se integrează în ultimele tendințe, inclusiv contribuția sa la dezvoltarea soluțiilor pentru agricultura inteligentă.

Rezultatele principale. Rezultatele principale includ aplicarea inteligenței artificiale, automatizării și roboticii în agricultură, precum și dezvoltarea agriculturii de precizie. Aceste inovații contribuie la creșterea eficienței și sustenabilității în sectorul agricol.

Agricultură de precizie, este o abordare modernă a agriculturii care se bazează pe folosirea diferitor senzori de înaltă precizie, precum și instrumente de analiză a datelor (ca element al IA) care oferă posibilitatea automatizării mai multor procese și luarea operativă a unor decizii informate. Această abordare permite eficientizarea procesului de producție, economisind timp, efort și resurse materiale prin gestionarea mai eficientă a inputurilor (cum ar fi îngrășămintele și apa pentru irigare de exemplu), dar și un consum mai mic de pesticide sau alte preparate de uz fitosanitar, inclusiv datorită unui număr mai mic de tratări, ceea ce implicit conduce spre o utilizare mai durabilă a resurselor naturale.

Asigurarea durabilității și minimizarea reziduurilor de pesticide este un aspect de loc de neglijat, în special în contextul integrării Republicii Moldova în UE, unde aceste aspecte sunt elemente definitorii pentru calitate. În special pentru consumatorii occidentali calitatea înseamnă mult mai mult decât însușirile fizice ale produselor, ci și condițiile de producere, impactul procesului de producție asupra mediului, sănătății nu doar a consumatorilor, dar și a celor implicați în procesul de producție (Sedex, 2024).

În continuare vom prezenta câteva exemple ce țin de aplicarea agriculturii de precizie:

- Sistemele inteligente de irigare cu viteză variabilă, care oferă producătorilor agricoli ajustarea automată a debitului și presiunii apei pentru fiecare stropitor sau duză în funcție de conținutul de umiditate a solului, stadiul de dezvoltare sau maturitate a culturii și condițiile meteorologice;
- La fel și fertilizarea (sau fertigarea, atunci când îngrășămintele sunt dizolvate în apa cu care se irigă) pot fi efectuate cu rată variabilă, adică aplicarea de îngrășămintele să fie calculate automat ținând cont de nivelul nutrienților din sol și de necesitățile specifice a culturilor respective;

- Plantarea de precizie permite ca semințele să fie amplasate la adâncimi și distanțe optime, luând în considerare variațiile solului și cerințele culturii;
- Dronele echipate cu camere și senzori care oferă date în timp real despre sănătatea culturilor, infestările cu dăunători și condițiile câmpului sunt un alt exemplu de aplicare a agriculturii de precizie, care la fel permit economisirea resurselor, dar mai ales a timpului care ar fi necesar pentru inspectarea plantelor la fața locului;
- Utilizarea tehnicii agricole dotate cu sisteme de poziționare globală (GPS) capătă popularitate crescândă, inclusiv și în Republica Moldova datorită faptului că pe de o parte acestea permit conducătorilor de tractoare sau camioane să navigheze mai ușor pe câmpuri, dar și celor ce răspund de alocarea resurselor să urmărească mișcările echipamentelor;
- Monitorizarea roadei permite colectarea datelor în timpul recoltării pentru a evalua variațiile cantităților de produs pe câmp, ceea ce poate fi integrat într-un sistem inteligent de feedback, astfel înțelegând mai bine cum ar putea fi ajustate tehnologiile pentru a obține un randament optim.

Monitorizarea câmpurilor și detectarea focarelor de îmbolnăviri. IA poate avea un rol foarte important în analiza imaginilor, care pot fi captate de drone sau chiar de sateliți. Aceasta poate ajuta la monitorizarea câmpurilor sau a terenurilor protejate pentru depistarea timpurie a dăunătorilor, buruienilor sau focarelor de infecții. IA scanează imagini pentru a găsi probleme precum mucegaiul, putregaiul, insectele sau alte amenințări pentru sănătatea culturilor.

De asemenea, în baza acestor imagini IA poate identifica semne timpurii de boală sau deficiențe de nutrienți în culturi. La fel, analiza acestor imagini pot depista dacă plantele suferă de anumite șocuri sau stres și în combinație cu IA pot sugera posibile acțiuni, sau tratament care să diminueze efectul acestor șocuri.

Merită de menționat că de multe ori, semnele identificate ușor de IA sunt imperceptibile pentru ochiul uman. Astfel, echipamentele optice performante în combinație cu IA formează sisteme de alertă eficiente care permit producătorilor agricoli să întreprindă măsuri prompte, aplicând tratamente direcționate care pot salva recolte întregi.

În Republica Moldova este cel puțin un prestator de servicii din această categorie (*Euroalun SRL*), care datorită parteneriatului cu o companie din SUA are acces la imagini de rezoluție înaltă captate de sateliți.

Analiza predictivă și alte aplicații digitale. Cunoașterea timpului probabil este cel puțin un aspect de care sunt interesați practic toți agricultorii, doar că actualmente datorită IA este posibilă punerea în aplicare a unor sisteme de analiză predictivă care merg mult mai departe decât anticiparea și prevenirea riscurilor legate de impactul unor intemperii.

De exemplu analizând evoluția mai multor parametri precum temperatura și umiditatea aerului, precipitațiile într-o anumită perioadă, direcția vântului, etc. sistemele de analiză predictivă pot calcula cu maximă precizie întrunirea condițiilor prielnice pentru apariția anumitor dăunători sau boli în plantații.

Algoritmii de inteligență artificială și de învățare automată analizează date extinse din surse precum imagini din satelit, modele meteorologice, condițiile solului și performanța istorică a culturilor. Aceste informații conduc la previziuni extrem de precise despre rezultatele culturilor, ajutând fermierii să decidă când să planteze, să pornească stațiile de irigare, sau să recolteze.

Actualmente în Moldova există aproape 300 stații meteo, majoritatea instalate în plantații multianuale. Odată ce mai bine de 260 stații au fost furnizate de compania austriacă *Pessl Instruments*, acestea au putut fi conectate la o platformă unică de stocare și procesare a datelor. Analiza datelor se face inclusiv prin aplicarea inteligenței artificiale capabile de a ”învăța” din datele istorice, stabili anumite corelații și legități. Astfel, acesta permite de a prevedea riscurile climaterice sau de apariție a anumitor boli și dăunători. Respectiv devine posibil de a întreprinde acțiuni preventive de protecție a plantelor. O parte din aceste date sunt accesibile pentru publicului larg prin intermediul platformei online *agrodat.md* care este un produs completamente autohton elaborat și menținut de *Biosfera SRL*, care este reprezentantul oficial al companiei *Pessl Instruments* în Republica Moldova.

Previziunea recoltei este un alt aspect de interes major pentru agricultori, mai ales când aceștia vor să-și evalueze costurile de producție per unitate sau pentru a decide vizavi de oportunitatea anumitor tranzacții. În baza datelor colectare de stațiile meteo, *Biosfera SRL* are posibilitate de a face predicții exacte cu privire la recolta a 6 culturi, fiind în derulare lucrările de ajustare a soft-ului pentru extinderea acestor posibilități și pentru alte culturi.

Servicii similare sunt prestate și de compania *Euroalun SRL* care are instalate 35 stații meteo în diverse regiuni ale Moldovei, dar care de asemenea prestează diverse servicii geospațiale legate de gestionarea câmpurilor. Pentru aceasta, compania a elaborat și o aplicație specială (*iFarms*) care la fel are menirea de a ajuta fermierii să-și gestioneze afacerile. O valoare deosebită a acestei aplicații, pe lângă faptul că este un produs în mare măsură autohton, este că *iFarms* conține o serie de module menite să faciliteze implementarea standardului GlobalGAP, ceea ce devine o necesitate stringentă în contextul diversificării exporturilor moldovenesti pe piața UE.

Un alt domeniu în care IA poate revoluționa modul în care fermierii iau decizii este optimizarea producției pe baza analizei predictive a piețelor. Acesta este îndeosebi de valoros în condițiile unor piețe cu volatilitate înaltă (unde prețurile fluctuează semnificativ). IA poate ajuta la reducerea acestei incertitudini prin furnizarea de analize în timp real a punctelor de preț și a datelor de piață.

Prin serviciile lor, mai multe companii din domeniu precum *Agtools*, *Agremo* și *GeoPard* oferă instrumente practice bazate pe IA care analizează tendințele pe termen lung, precum și diverse circumstanțe curente, care permit producătorilor agricoli să-și optimizeze asortimentul și volumele de producție, ceea ce minimizează riscurile legate de crizele de supraproducție sau îi ajută să-și maximizeze profiturile.

Echipamentele de automatizare și robotica. În condițiile când forța de muncă devine tot mai greu de a fi atrasă în sectorul agricol, iar în consecință, competitivitatea agricolă bazată pe forța de muncă ieftină nu pare să aibă viitor,

echipamentele automatizate și roboții agricoli câștigă tot mai mult teren în agricultura modernă.

După cum știm recoltarea manuală necesită muncă intensă, dar și multă atenție. Dacă încă un deceniu în urmă utilizarea roboților pentru recoltarea fructelor părea de ordinul fantasticului, actualmente companii precum *Tortuga AgTech* sunt capabile de a produce în serie roboți care pot identifica și culege fructele coapte cu o acuratețe remarcabilă, reducând costurile legate de utilizarea forței de muncă și minimizând daunele în timpul procesului (*Tortuga AgTech*, 2024).

În același timp, robotul *HV-100* de la *Harvest Automation* a fost proiectat pentru a putea reamplasa diverse obiecte de mici dimensiuni. Acest tip de roboți pot înlocui extrem de eficient munca umană istovitoare în special în sere și pepiniere, sau în spațiile unde se cultivă plante ornamentale sau fructe și legume exotice când acestea sunt crescute în containere cu sol (*Harvest Automation*, 2024).

Tractoarele fără șofer sau echipate cu sisteme avansate de asistență a șoferului (ADAS) capătă o popularitate crescândă în mai multe companii occidentale. Aceste mașini „inteligente” folosesc o combinație de sisteme GPS, senzori LiDAR (Light Detection and Ranging) capabili de a detecta obiecte și stabili poziționarea lor cu ajutorul luminii, camere de vizualizare computerizată și algoritmi de inteligență pentru automatizarea diverselor sarcini în teren. Și mai uimitoare prin acuratețea lor par a fi agregatele de combatere a buruienilor de la *Blue River Technology*, care a fost achiziționată de gigantul în domeniul tehnicii agricole *John Deere*. Acestea combină elemente optice de înaltă precizie cu algoritmi IA. Astfel, camerele atașate la pulverizatoare sunt ”instruite” să recunoască buruienile ceea ce permite aplicarea țintită a erbicidelor, minimizând pierderile și reducând impactul negativ asupra mediului (*Blue River Technology*, 2024).

Deocamdată în Republica Moldova robotizarea agriculturii se află la o etapă incipientă și, conform ultimilor informații disponibile, doar o fermă de vaci din nordul țării utilizează roboții pentru mulsul laptelui.

Utilizarea dronelor și altor aeronave pentru protecția plantelor. Un rol deosebit în agricultura inteligentă îl au dronele. Pe lângă utilizarea acestora în scopuri de monitorizare a câmpurilor acestea capătă o popularitate crescândă fiind utilizate în lucrările de protecție a plantelor. Acesta se datorează mai multor avantaje pe care acestea le oferă comparativ cu tehnica agricolă convențională.

Dronele pot fi utilizate eficient în plantațiile cu relief dificil (d.e. amplasate în pante abrupte) unde accesul tehnicii mari este adeseori imposibil. Un alt aspect important este că dronele nu tasează solul, iar pentru livezi sau alte plantații multianuale acestea nu necesită neapărat spații cu înierbare pentru a face posibil accesul lor imediat după ploaie. Dronele moderne precum cele produse de companiile *XAG* sau *DJI* (linia *Agras*) funcționează autonom conform unor parametri programabili, astfel fiind nevoie de o intervenție minoră din partea operatorului. Pe lângă economiile de ore de muncă umană, dronele pot permite economii de până la 90% a apei necesare pentru tratări, dacă e să comparăm cu metodele tradiționale de efectuare a stropirilor. Acesta se datorează unor pulverizatoare ultraperformante care pot produce picături cu dimensiunea de doar 50

um ceea ce asigură și o acoperire mai bună a suprafețelor tratate, totodată minimizând consumul de substanțe active, fapt benefic și din punct de vedere a protecției mediului.

Chiar dacă deocamdată utilizarea dronelor nu are un caracter de masă în agricultura moldovenească, există premise solide pentru aceasta. În țară există deja 2 companii furnizoare de aceste echipamente, câteva proiecte pot facilita accesul la finanțarea investițiilor respective, iar sistemul de subvenționare permite acoperirea la până 70% din costul acestora (până în 500 mii lei). Preponderent serviciile dronelor sunt utilizate pentru culturile de câmp, dar se observă o creștere și pe segmentul plantațiilor multianuale. În acest sens *Agricos Tech SRL*, distribuitor oficial *XAG* în Moldova, prestează servicii de protecție a plantelor pentru firme precum *Purcari* sau *Cricova* (în ultimul caz în regim de producere organică). În plus *Agricos Tech SRL* are instalată o rețea de antene RTK (Real Time Kinematic) care acoperă 98% din teritoriul țării și în combinație cu sistemele de navigare GPS pot asigura o acuratețe de navigare a dronelor de până la 2 cm (*Agricos Tech*, 2024).

În contextul adaptării la schimbările climatice, o atenție deosebită merită soluțiile inovative pentru agricultură oferite de compania moldovenească *DanAero*. Acesta produce aeronave de dimensiuni mici fără pilot, ghidate de la sol, care au capacitatea de a dispersa în troposferă anumite substanțe care pot provoca apariția ploii sau preveni grindina (*Agrobiznes.md*, 2024).

Optimizarea lanțurilor de aprovizionare. Inteligența artificială capătă un rol crescând în optimizarea lanțurilor de aprovizionare, inclusiv și celor din sectorul agricol. După cum a fost menționat anterior, algoritmi IA au capacitatea de a analiza datele istorice, tendințele pieței și factorii externi pentru a prezice cererea de produse agricole.

Având aceste date despre cerere, fermierii și distribuitorii pot optimiza nivelurile stocurilor, asigurându-se că au disponibilă cantitatea de produse potrivită la timpul necesar. Astfel, IA poate sugera momentul optim pentru recoltarea culturilor pe baza unor factori precum condițiile meteorologice, maturitatea culturii și cererea pieței.

Optimizarea rutelor camioanelor la fel este un domeniu unde IA deja a căpătat un rol important, ceea ce are drept rezultat minimizarea cheltuielilor de transport, datorită reducerii consumului de combustibil, precum și scurtează la minim timpul de livrare, dar și de așteptare pentru încărcare sau descărcare, ceea ce are impact pozitiv și asupra numărului de întârzieri.

De asemenea există soluții complexe bazate pe IA care permit asigurarea trasabilității produselor, ceea ce sporește posibilitățile de control a riscurilor ce țin de siguranța alimentară. Aceste soluții devin actuale și în Moldova mai ales în contextul reorientării către piețele occidentale unde odată cu implementarea bunelor practici agricole (*GlobalGAP*) sau a altor sisteme de calitate și siguranță alimentară se mai cere și asigurarea trasabilității care să permită stabilirea exactă a provenienței produselor, precum și a mișcării acestora. În acest context deja sunt câteva companii care au implementat sisteme inteligente ce asigura trasabilitatea; în baza unor coduri

de bară, operatorii pot spune, de exemplu, care este parcela unde a fost crescut un fruct anume, când și de cine a fost recoltat.

Există senzori care în combinație cu IA permit monitorizarea condițiilor de transportare și depozitare a produselor, iar în cazul unor abateri de la condițiile necesare declanșează alerte, permițând acțiuni corective în timp util. Așa-numiții senzori-spioni, sunt pe larg utilizați de exportatorii moldoveni pentru monitorizarea respectării de către transportatori a temperaturilor condițiilor de transportare a fructelor care au un grad înalt de perisabilitate.

Atunci când respectarea condițiilor de depozitare optimale este complimentată de strategii de rotație, care la fel pot fi implementare cu ajutorul IA, există un potențial enorm de a reduce la minim deșeurile, ceea ce este important nu doar din punct de vedere economic, dar și etic. Atunci când în lume 1 din 10 persoane suferă de malnutriție, iar peste 1 miliard de tone de alimente (o treime din producția anuală la nivel mondial) nu ajung să fie consumate, risipa alimentară s-a ridicat la nivel de problemă globală (World Resource Institute, 2024). Mai mult ca atât, ținând cont de faptul că pentru această cantitate risipită au fost consumate resurse naturale, iar lichidarea deșeurilor are impact negativ asupra mediului, acesta este și o problemă și din punct de vedere ecologic. Respectiv, companiile responsabile se străduie să întreprindă măsuri de diminuare a deșeurilor, care adeseori sunt convertite și în beneficii de imagine pentru acestea în cadrul diverselor campanii de marketing. Și dacă în țările occidentale aceasta este o practică comună, trebuie să constatăm că aceste oportunități sunt cumva neglijate de comunitatea de afaceri din Republica Moldova.

Tehnologiile blockchain pentru agricultură. Fiind mai mult menționate mai mult în contextul criptomonedelor, tehnologiile blockchain se bazează pe registre (blocuri de informație) partajate, înlanțuite și sincronizate între membrii unei anumite rețele, precum și securizate încât acestea nu pot fi cumva manipulate de o singură parte. Astfel, în cazul blockchainurilor nu este nevoie de careva părți terțe de încredere sau auditori care să asigure veridicitatea datelor. Datorită acestor proprietăți tehnologiile block-chain au început să capete o utilizare tot mai largă și în sectorul agricol.

Astfel în domeniul agriculturii inteligente tehnologiile blockchain sunt aplicate pentru a asigura trasabilitatea produselor și transparența lanțurilor de aprovizionare, aspecte deosebit de importante mai ales în cazul anumitor situații de criză din sector. De exemplu, un sistem de monitorizare a bovinelor la nivel individual, bazat pe tehnologia blockchain, a permis producătorilor din Zimbabwe să-și recapete încrederea importatorilor internaționali, pierdută în urma unei epidemii cauzate de căpușe care a dus la moartea a peste 50mii capete în 2018 (Ventures Africa, 2022). Începând cu 2021, vitelor li se aplică câte o etichetă unică care transmite prin unde radio toate datele despre fiecare animal, inclusiv despre deplasarea acestuia, vaccinările și tratamentele medicale primite, tranzacțiile de la un proprietar la altul, etc.

Facilitarea tranzacțiilor și implementarea contractelor inteligente sun un alt domeniu în care tehnologiile blockchain pot aduce valoare sectorului agricol, în

special prin automatizarea și eficientizarea operațiunilor. Aceasta înseamnă că anumite tranzacții pot avea loc automat în cazul satisfacerii unor condiții prestabilite. Dacă să luăm spre exemplu domeniul asigurărilor, atunci despăgubirea entităților poate avea loc automat în cazul producerii riscurilor asigurate.

Deoarece nu necesită o infrastructură centralizată, sau entități de gestionare sau control, sistemele de plată bazate pe blockchain pot oferi costuri scăzute pentru tranzacții sau pentru creditele oferite, ceea ce permite îmbunătățirea incluziunii financiare pentru fermierii mici. Drept exemplu este platforma *EthicHub* care permite finanțarea participativă a fermierilor mici (EthicHub, 2024). Aceasta permite împrumuturi echitabile și investiții directe în proiecte agricole de o manieră transparentă.

De asemenea tehnologiile blockchain sunt aplicate pentru a conecta diferite părți ale lanțurilor valorice. De exemplu, în Nigeria *Agrichainx* este o platformă blockchain care conectează fermieri, comercianți cu amănuntul, distribuitori alte verigi ale lanțurilor de valoare. Această platformă are integrate atât un modul de contracte inteligente, cât și un sistem de plăți bazat pe tehnologiile blockchain (Agrichainx, 2024).

O altă platformă este *Hello Tractor* (din Kenya) care folosește IA și blockchain pentru a conecta fermierii africani cu proprietarii de tractoare, astfel ajutând la optimizarea utilizării tractoarelor (Hello Tractor, 2024).

Chiar dacă la moment, tehnologiile blockchain nu au aplicabilitate vizibilă în sectorul agricol moldovenesc, acestea ar putea aduce valoare deosebită mai ales în contextul diversificării piețelor pentru produsele agricole din Moldova. Aici e vorba de mecanisme de asigurare a trasabilității mărfurilor, de facilitare a tranzacțiilor, inclusiv prin sporirea încrederii dintre părți care nu se cunosc. În multe arii geografice unde se află potențialii parteneri comerciali instrumentele tradiționale de asigurare a plăților precum acreditivul documentar nu sunt disponibile sau sunt prea costisitoare pentru a desfășura operațiuni de export profitabile. Astfel, executarea automată a unor contracte inteligente de export cu aplicarea tehnologiilor blockchain ar spori încrederea importatorului că primește marfa, iar a exportatorului că obține plata.

Principalele provocări legate de tranziția la Agricultură 4.0. Fiind domenii în permanentă dezvoltare, atât tehnologiile IA, cât și blockchain ridică problematica de reglementare, deoarece cadrul legal în cele mai multe cazuri se ajustează preponderent de o manieră reactivă. Multe țări nu dispun de mecanisme juridice clare care ar asigura confidențialitatea datelor, precum și aspectele etice legate de colectarea, stocarea, procesarea și publicarea acestor date. Situația este caracteristică și pentru Republica Moldova, unde tehnologiile blockchain, spre exemplu, sunt preponderent reglementate prin prisma contracarării infracțiunilor financiare și spălării de bani. Totuși, în contextul alinierii legislației la directivele UE, Republica Moldova are perspective bune de a fi în pas cu tendințele în acest domeniu.

Pe de altă parte, o problemă în utilizarea IA este ține de corectitudinea și relevanța datelor pe care aceasta se bazează. Astfel, aceleași sisteme sau soluții tehnologice ar putea funcționa excelent într-un anumit context, dar ar putea avea

carențe majore în condițiile unde datele nu sunt la fel de sigure din punct de vedere cantitativ sau calitativ. De exemplu un sistem de predicție a aparițiilor bolilor și dăunătorilor bazat pe o rețea de stații meteo poate funcționa cu exactitate diferită; respectiv recomandările formulate vor fi suficient de valide pentru terenurile care recepționează cu regularitate date de la stații amplasate în proximitate, pe când relevanța recomandărilor generate luând în calcul date colectate sporadic și de la stații amplasate la distanțe mari va fi discutabilă, chiar dacă în ambele cazuri vor fi utilizați aceiași algoritmi de analiză.

O altă provocare pentru tranziția la agricultură inteligentă este costul tehnologiilor respective, ceea ce în mod normal solicită economii de scală pentru ca investițiile date să fie rezonabile din punct de vedere economic. Prin urmare, spre deosebire de corporațiile mari care pot beneficia de un considerabil efect de multiplicare de pe urma investițiilor în roboți sau alte soluții de modernizare bazate pe IA, micii fermieri vor fi dezavantajați, odată ce chiar dacă și-ar putea permite asemenea investiții, costul acestora raportat la cifra de afaceri va diminua considerabil efectele pozitive.

La fel, gradul de accesibilitate diferit la soluțiilor bazate pe tehnologiile digitale în diferite țări ar putea adânci și mai mult decalajul tehnologic dintre agricultura practică în țările cu economii puternice și cele cu economii în dezvoltare. Vorbind despre accesibilitate, nu ne putem limita doar la prețul echipamentelor propriu-zise, dar trebuie să ținem cont și de acces la cunoștințe și instruire necesare pentru aplicarea tehnologiilor respective, existența suportului tehnic și de mentenanță, care ar oferi posibilitatea de a remedia rapid orice defect în funcționare.

Nu în ultimul rând contează și existența unui cadru legal adecvat și a mediului stimulatoriu favorabil, dar și receptivitatea din partea eventualilor implementatori. În acest sens mai mulți liderii de opinie din sector consideră că agricultorii moldoveni sunt mai puțin dispuși să fie primii care să testeze inovațiile, mai ales dacă acestea implică costuri financiare considerabile. În schimb, majoritatea sunt foarte decizi să urmeze modelele care s-au dovedit a fi de succes.

În contextul de mai sus merită de menționat că și Republica Moldova se află printre țările care ar putea pierde mult din competitivitatea agricolă în cazul întârzierii tranziției spre o agricultură inteligentă. În acest sens o provocare semnalată de importatorii de tehnologii din Republica Moldova este că factorii de decizie din stat, dar chiar și mulți dintre liderii de opinie din sector încă nu sesizează acest risc. Fiind prinse mai mult în aplanarea consecințelor diverselor situații excepționale, autoritățile sunt mai puțin pro-active în politicile sale. Astfel tranziția spre agricultura inteligentă are loc mai mult de jos în sus datorită unor inițiative private.

Concluzii. Inteligența artificială dispune de un potențial imens de a transforma agricultura la nivel global. În contextul pierderii interesului față de munca în agricultură (cel puțin de maniera tradițională) din partea generațiilor tinere, schimbarea modului de a face agricultură devine un proces ireversibil. Soluțiile bazate pe IA contribuie semnificativ la sporirea productivității, îmbunătățirea

condițiilor de muncă în agricultură, obținerea unor produse mai curate și în condiții de minim impact negativ asupra mediului.

Echipamentele dotate cu IA înlocuiesc munca oamenilor ceea ce are un impact pozitiv asupra eficientizării utilizării timpului angajaților și sporește productivitatea muncii. Considerând că agricultura tradițională implică multă muncă fizică grea și adeseori în condiții nocive, robotizarea agriculturii este extrem de benefică pentru protecției sănătății agricultorilor.

Chiar dacă soluțiile digitale în agricultura Republicii Moldova deocamdată nu poartă un caracter de masă, deja sunt segmente unde acestea sunt aplicate pe larg. Printre exemple ar putea fi și cele câteva depozite frigorifice dotate cu sisteme de control dinamic al atmosferei, dar și zecile de linii de sortare a merelor instalate prin toată țara, care utilizează optică performantă și algoritmi avansați de depistare a defectelor, încât merele livrate de la export pot face ușor față cerințelor celor mai sofisticate piețe.

Considerând că agricultorii din economiile dezvoltate, de regulă, sunt și mai aproape de cei care lansează inovațiile în domeniu, aceștia au un acces sporit la rezultatele acestor inovații. În acest sens este critic ca și Republica Moldova să țină pasul cu tendințele în domeniul agriculturii inteligente. Mai mult ca atât, fiind o țară cu tradiții în agricultură și având un sector IT care a beneficiat de o dezvoltare remarcabilă pe parcursul ultimelor 2 decenii, Moldova ar trebuie să fie în avangarda cercetărilor și inovațiilor, inclusiv în domeniul IA pentru agricultură. Universitatea Tehnică, mai ales după incorporarea în sine a Universității agrare ar trebui să devină un pol de dezvoltare în acest sens, iar statul ar trebui să contribuie plenar la susținerea proiectelor de cercetare care să aibă au drept scop oferirea de soluții pentru probleme concrete cu care se confruntă producătorii agricoli.

Sistemul subvenției nu este perfect, iar dezvoltarea agriculturii ar trebui să fie bazată pe o abordare sistemică. De exemplu subvențiile actuale de 25% din costurile stațiilor meteo nu reprezintă un stimulent deosebit pentru agricultori, dar nici nu asigură o amplasare optimă a stațiilor meteo pentru a colecta date relevante pentru întreg teritoriul țării. Astfel, conform specialiștilor în domeniu, ar fi mai eficientă implementarea unui program care ar duce numărul de stații meteo la un total de 500. Acestea, fiind amplasate corect ar putea furniza date relevante și exacte pentru agricultorii din întreaga Republică Moldova, totodată ar costa mai puțin decât s-ar cheltui pentru subvențiile acordate pentru instalarea stațiilor meteo de o manieră mai mult sau mai puțin aleatorie în baza deciziilor unor producători individuali. Asta deoarece pentru a obține date cu același grad de exactitate, va fi nevoie de un număr total de stații mult mai mare de 500.

Ținând cont că digitalizarea presupune nu doar echipamente, dar și o întreagă gamă de servicii, sistemul de subvenționare ar trebui să prevadă și acoperirea serviciilor respective, ceea ce ar facilita accesul agricultorilor la noile tehnologii.

De asemenea, pentru a crea avantaje competitive maxime pentru sectorul agricol moldovenesc, ar fi corect ca sistemul de subvenționare să țină cont și natura echipamentelor sau tehnologiilor aplicate. Astfel pentru echipamentele cu un grad

sporit de automatizare/robotizare ar trebui aplicată o cotă sporită de subvenționare, urmând același exemplu care este aplicat pentru înființarea plantațiilor multianuale.

În contextul luptei concurențiale la nivel global autoritățile statului ar trebui să considere adoptarea unui program de transformare a agriculturii. De asemenea se întrevade și necesitatea schimbării opticii asupra soluțiilor digitale și roboticii pentru agricultură, care nu trebuie privite doar ca ”elemente de modă” sau ”science fiction”, dar ca soluții reale pentru a face față schimbărilor climatice, a spori productivitatea muncii în agricultură, a îmbunătăți condițiile de muncă și, respectiv, a atrage forța de muncă în sector. În acest sens este importantă crearea unor modele de succes în țară care alți agricultori moldoveni să dorească să le urmeze.

O abordare mai strategică în dezvoltarea economiei țării, ar depista oportunitatea remarcabilă de a crea clustere de dezvoltare care ar pune baza și unor industrii complementare (de suport), ceea ce conform modelului Porter ar spori și competitivitatea sectorului agricol. Spre regret, nemaivorbind de IA, aceste oportunități sunt neglijate chiar și în domenii mai puțin solicitante și punct de vedere a științei. În rezultat agricultorii moldoveni continuă să se bazeze aproape exclusive pe importurile de platforme de recoltare, tocătoare, stropitori, în fapt întregul spectru de agregate pentru lucrul în livezi sau vii, ne mai vorbind despre ambalaj pentru produsele finale. Acesta în condițiile unei piețe mereu în creștere datorită faptului că suprafața plantațiile multianuale moderne a crescut mereu în ultimele 2 decenii, iar acestea necesită și alt tip de tehnică, decât cea care se folosea în plantațiile de tip vechi.

Tehnologiile blockchain pot aduce un aport considerabil la soluționarea problemelor legate de diversificarea limitată a unor produse moldovenești. Acestea ar putea contribui semnificativ atât la asigurarea trasabilității, cerute de importatorii din țările cu economie dezvoltată, cât și ar ajuta la diminuarea riscurilor de neplată în cazul exporturilor pe unele piețe cu risc sporit.

În acest context considerăm că toate părțile interesate inclusiv din sectorul guvernamental, mediul academic, sectorul privat dintre care antreprenorii din industrie și nu în ultimul rând producătorii agricoli trebuie să colaboreze pentru a accelera tranziției spre agricultura inteligentă. Fără modernizarea agriculturii e greu de sperat la o competitivitate a sectorului pe termen lung, în timp ce aplicarea soluțiilor digitale inovatoare pot contribui semnificativ la creșterea productivității, dar și calității produselor agricole moldovenești, ceea ce implicit va conduce la sporirea gradului de competitivitate a produselor autohtone și o mai bună exploatare a oportunităților de export pe cele mai diverse piețe.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

- Agrichainx II Agrinodex II Agricoins. Transportation, Logistics, Supply Chain and Storage.* (2018). <https://www.linkedin.com/company/agrichainx>
- Agricos Tech. (n.d.). <https://agricos.xag.md>
- Agrobiznes. (2024). *AgTech Moldova*. <https://agrobiznes.md/agtech>

- Białowas, T., & Budzyn'ska, A. (2022). The Importance of Global Value Chains in Developing Countries' Agricultural Trade Development. *Sustainability*, 14(3), 1389. <https://doi.org/10.3390/su14031389>
- Biroul Național de Statistică al Republicii Moldova (BNS). (2024). *Banca de date "Statbank"*. <https://statistica.gov.md/ro/banca-de-date-statistice-78.html>
- Blue River Technology. (2024). <https://bluerivertechnology.com>
- Department for Environment Food & Rural Affairs (DEFRA). (2024). *Agricultural workforce in England at 1 June 2024*. <https://www.gov.uk/government/statistics/agricultural-workforce-in-england-at-1-june/agricultural-workforce-in-england-at-1-june-2023>
- EthicHub. (2024). *Invest with impact and be proud of your profits*. <https://www.ethichub.com/en>
- Eurostat. (2020). *How much are households spending on food?* <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20201228-1>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2018). *The future of food and agriculture: Alternative pathways to 2050*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2019). *E-Agriculture in action: Blockchain in agriculture*. Challenges and opportunities. Bangkok, Thailand. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca2906en>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2024). *Climate-Smart Agriculture*. <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture>
- Hello Tractor. (n.d.). <https://hellotractor.com>
- Harvest Automation. (n.d.). *Mobile robots for industrial productivity* <https://www.public.harvestai.com>
- McKinsey & Company. (2024). *What is industry 4.0 and the Fourth Industrial Revolution?* <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-are-industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution-and-4ir>
- Mohan, S., Khorana, S., & Choudhury, H. (2012). *Barriers to prosperity - developing countries and the need for trade liberalisation*. IEA Discussion Paper 44. <https://iea.org.uk/wp-content/uploads/2016/07/Barrier%20to%20Trade%20-%20Mohan.pdf>
- Noor, N. M., Razali, N. A. M., Sharifah, S. N. S., Ishak, K. K., Wook, M., & Hasbullah, N. A. (2023). Decentralised Access Control Framework using Blockchain: Smart Farming Case. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* (IJACSA), 14(5), 566-579. <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140560>
- Oliveira, R. C., & De Souza e Silva, R. D. (2023). Artificial Intelligence in Agriculture: Benefits, Challenges, and Trends. *Applied Sciences*, 13(13), 7405. <https://doi.org/10.3390/app13137405>
- Rajasekaran, P., & Sivakumar, S. (2019). Artificial intelligence in agriculture: A comprehensive review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104859.

- Roser, M. (2023). *Employment in Agriculture*.
<https://ourworldindata.org/employment-in-agriculture>
- Sedex. (n.d.). *SMETA, the world's leading audit*.
<https://www.sedex.com/solutions/smeta-audit>
- Smith, J., & Brown, A. (2020). Artificial intelligence in agriculture: applications, challenges, and opportunities. *Precision Agriculture*, 21(2), 335-355.
- TEKTELIC communications. (2024). *The Whole Truth about Smart Farming: Pros and Cons you Need to Know*. <https://tektelic.com/expertise/the-whole-truth-about-smart-farming-pros-and-cons-you-need-to-know/>