

Az általános célú technológiák és a mesterséges intelligencia: Mi várható a termelékenység és a gazdasági növekedés terén?

Bartha Zoltán, PhD
Miskolci Egyetem
zoltan.bartha@ekon.me

Absztrakt

Az elmúlt két évszázad globális gazdasági növekedését az általános célú technológiák által kiváltott ipari forradalmak határozták meg, amelyek a korábbi évezredek stagnálásával szemben szakaszosan, de folyamatosan gyorsuló növekedési pályára állították a vezető gazdaságokat. A generatív mesterséges intelligencia robbanásszerű fejlődése ismét felveti a kérdést: vajon ez a technológia csak egy hasznos eszköz, vagy érdemi gazdasági növekedést eredményező valódi általános célú technológia? Jelen elemzés ezt a komplex kérdést vizsgálja a történelmi általános célú technológiák mintázatai, a technológia fejlődésében eddig megfigyelhető trendek és közgazdasági modellek segítségével végzett gondolat kísérletek alapján. A generatív mesterséges intelligencia minden kritériumnak megfelel ahhoz, hogy általános célú technológiának tekintsük: folyamatosan fejlődik, skálázható, és mélyreható innovációs komplementaritással bír. A korábbi tapasztalatokból kiindulva jelenleg a J-görbe beruházási fázisában tartunk, ahol a mikroszintű termelékenységi előnyök már látszanak, de a makroszintű, a teljes tényezőtermelékenység robbanásszerű növekedése még várat magára. E mellett a technológia használatának gyorsan eső költsége és skálázhatósága gyors diffúziót vetít előre. A végső gazdasági hatás nagyságrendje – a mérsékelt termelékenység növekedéstől az exponenciális forgatókönyvekig – azonban még nyitott kérdés. A társadalmi kimenetel végső soron azon múlik, hogy a generatív mesterséges intelligencia az emberi munka kiegészítőjévé vagy helyettesítőjévé válik-e.

Kulcsszavak

generatív mesterséges intelligencia, hosszú távú növekedés, teljes tényezőtermelékenység

Javasolt hivatkozás

Bartha, Z. (2025): Az általános célú technológiák és a mesterséges intelligencia: Mi várható a termelékenység és a gazdasági növekedés terén? In: Bartha, Z. (szerk): Statisztika+ Kondratyjev konferencia előadásai, 2025. szeptember 12. GEMI Műhelytanulmányok 2025/1, ISBN 978-963-358-403-3, ISSN 2939-5038, pp. 29-43.

Bevezetés

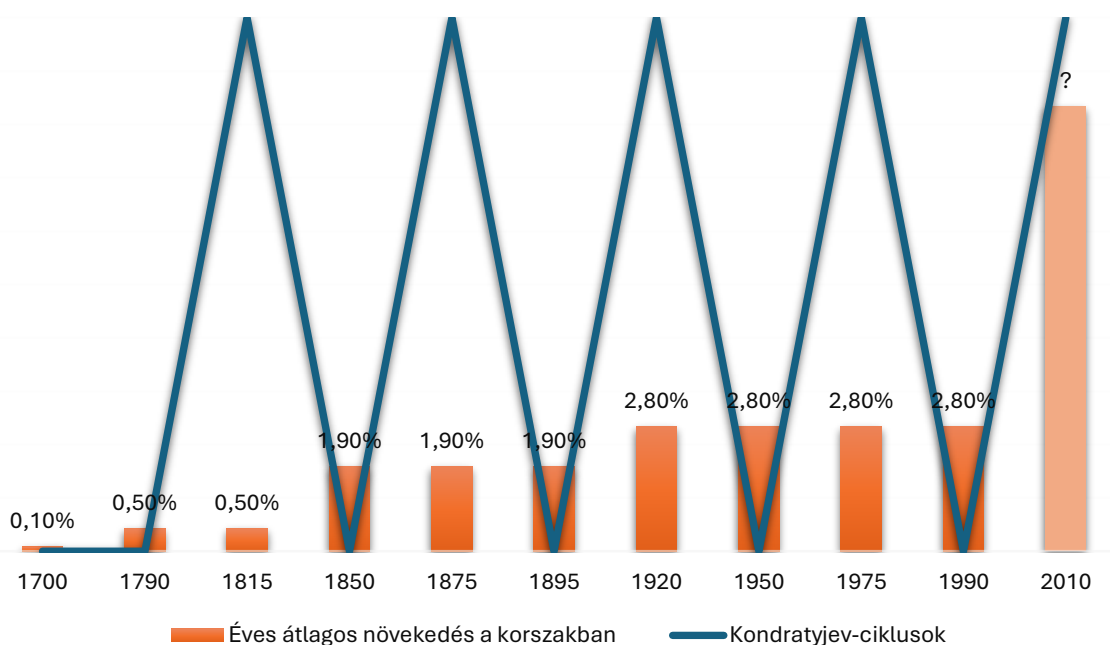
Az elmúlt két évszázad világgazdaságának történetét olyan nagy technológiai forradalmak határozták meg, amelyek időről időre átforgatták a termelés, a munka és a mindennapi élet kereteit. A gőzgéptől az elektromosságon át az információs technológiáig (IT) ezek a hullámok nem csupán új eszközöket adtak az emberiség kezébe, hanem egy új, korábban elképzelhetetlen

növekedési pályára is állították a gazdaságot. Maddison (2001) historikus növekedési adatainak publikálása óta közmegegyezés a közgazdászok körében, hogy az ipari forradalom beköszöntét követően a vezető gazdaságok átlagos éves növekedési üteme szakaszosan, de töretlenül gyorsul (ld. 1. ábra). Ez a dinamikus növekedés éles ellentétben áll a korábbi évezredek trendjeivel, melyeket évszázados hosszúságú stagnálások jellemeztek, ill. az ezeket nagyritkán, egy-két évtizedre megszakító növekedési szakaszok (Mokyr, 1992).

Ma, a generatív mesterséges intelligencia (genAI) robbanásszerű fejlődésének korában, ismét egy ilyen potenciális fordulópont előtt állunk. A központi kérdés, amely gazdasági döntéshozókat, vállalatvezetőket és kutatókat egyaránt foglalkoztat: a mesterséges intelligencia vajon „csak” egy újabb hasznos eszköz, vagy egy valódi általános célú technológia (General Purpose Technology - GPT), amely az elődeihez mérhető, vagy azokat akár meg is haladó gazdasági átalakulást indíthat el?

Jelen elemzés célja, hogy körüljárja ezt a komplex kérdéskört. Először megvizsgálom, hogy a történelmi tapasztalatok – különösen a korábbi ipari forradalmak – milyen mintázatokat mutatnak a gazdasági növekedés terén. Ezt követően bemutatom azokat a kulcsfogalmakat (mint a GPT és a teljes tényezőtermelékenység – TFP), amelyek elengedhetetlenek a téma megértéséhez. Részletesen elemezem a korábbi GPT-k (elektromosság, IT) termelékenységre gyakorolt hatását, különös tekintettel a „termelékenységi J-görbe” jelenségére.

Ezután térek rá a mesterséges intelligenciára: felmérem a technológiában rejlő jelenlegi és jövőbeli potenciált a skálázhatóság, a teljesítmény és a költségek tükrében. A makrogazdasági víziók mellett bemutatom azokat a mikroszintű, vállalati esettanulmányokat, amelyek már ma is kézzelfogható termelékenységi előnyökről tanúskodnak. Végül, a makrogazdasági növekedési modellek segítségével lehetséges jövőbeli forgatókönyveket vázlok fel – a mérsékelt TFP-növekedéstől egészen a „szingularitás” által fémjelzett exponenciális növekedésig.



1. ábra. Kondratyjev-ciklusok és az éves átlagos növekedési ütem

Forrás: saját szerkesztés Maddison (2001) és Grinin és mtsai. (2016) alapján

Kontextus és kulcsfogalmak

Kondratyjev-ciklusok és a növekedés lépcsőfokai

Mielőtt a jövőbe tekintenénk, érdemes a múlt nagy léptékű mintázatait megvizsgálni. Az 1. ábra a világgazdaság növekedési ütemének változását mutatja be az elmúlt évszázadokban, összekapcsolva azt a Kondratyjev-ciklusokkal. Kondratyjev, először az 1920-as években kifejtett elmélete szerint a kapitalista gazdaságok hosszú, 40-60 éves ciklusokban mozognak, amelyeket mélyreható technológiai innovációk vezérelnek (Kondratieff, 1979). Az ábra nem csupán ciklusokat, hanem a növekedési átlagok szintjének ugrásszerű emelkedését is mutatja.

Az ábra legfontosabb üzenete, hogy minden egyes nagy technológiai hullám (GPT) egy új, magasabb növekedési normát állított be. A 2010-es oszlopnál látható kérdőjelek az tanulmány központi kérdését teszik fel: képes-e a mesterséges intelligencia elindítani egy újabb ilyen ciklust? Képes-e fenntartani a 2,80%-os növekedést, vagy akár egy új, még magasabb szintre emelni azt?

Fogalmi keretek

A kérdés megválaszolásához elengedhetetlen négy kulcsfogalom tisztázása: GPT, TFP, generatív mesterséges intelligencia (genAI) és a termelékenységi J-görbe.

Általános célú technológia

Az általános célú technológiák széles körű alkalmazhatóságukkal, a folyamatos technikai fejlődés lehetőségével, és az innovációs komplementaritások generálásával járulnak hozzá a tartós gazdasági növekedéshez. Ezek a technológiák, mint a gőzgép, az elektromosság vagy az IT, képesek alapvetően átalakítani az egész gazdaságot és a társadalmi struktúrákat. A GPT-k elterjedése kezdetben akár a termelékenység lassulásával is járhat az új infrastruktúra kiépítésének és a tanulási költségeknek köszönhetően, de hosszú távon gyorsuló innovációs hullámokat és strukturális változásokat idéznek elő, új iparágakat és munkaerőpiacokat teremtve. Mi tesz egy technológiát általános célúvá? Bresnahan (2010) definíciója három kulcselemet jelöl ki:

- > Folyamatosan fejleszthető: A GPT nem egy statikus találmány, hanem egy platform, amely idővel egyre jobbra és hatékonyabbá válik (pl. a gőzgép hatásfoka 1712, a Newcomen-gép megjelenéséhez képest az 1850-es évekre több lépésben legalább egy nagyságrenddel javult (Allen, 2009)).
- > Széles alkalmazási terület: Nem egyetlen iparágat, hanem a gazdaság szinte egészét áthatja (pl. az elektromosságot világításra, motorok hajtására, kommunikációra és számításokra is használjuk).
- > Innovációs komplementaritás: A GPT megjelenése önmagában innovációkat generál a kapcsolódó területeken, és növeli más innovációk értékét. Az elektromosság nemcsak olcsóbbá tette a gyári termelést, hanem lehetővé tette a futószalagot, a több műszakos munkarendet és a modern városi életet.

Jelentős gazdaságtörténeti munkák megerősítik, hogy a történelmi GPT-k kimutatható módon hozzájárultak a gazdasági növekedéshez. Crafts (2004) brit statisztikák alapján azt becsülte, hogy a gőztechnológia hozzájárulása a termelékenység növekedéséhez az 1830 és 1910 közötti időszakban évi 0,2 és 0,4% között ingadozott. A későbbi GPT-k hatása még ennél is jelentősebb lehetett. Bergeaud és mtsai. (2018) hosszabb távú, a 20. század nagy részére kiterjedő elemzése megmutatja, hogy a kezdeti lassulás ellenére az elektromosság végül az USA TFP-növekedésének 24%-át (azaz az éves növekedési legalább 0,5%-át), az IT pedig 10%-át (az éves növekedés 0,3-0,5%-át) magyarázta.

Teljes tényezőtermelékenység

A TFP azt a részét méri a gazdasági növekedésnek, amely nem magyarázható a felhasznált termelési tényezők (munka és tőke) pusztán mennyiségi növekedésével. A TFP az inputokat outputtá átalakító technológiai folyamat javulásaként értelmezhető, amit a kutatók változatos módon ragadhatnak meg. Beszélhetünk a hatékonyság javulásáról, a jobb szervezésről (Fayol, 2016; Taylor, 1911), új ötletek beemeléséről (Mokyr, 1992; Romer, 1986), vagy technológiai haladásról (Solow, 1956).

Gordon (2016) megállapítása – miszerint 1920 és 1970 között az USA növekedésének kétharmada a TFP emelkedésének volt betudható – rávilágít, miért kulcsfontosságú ez a mutató. Egy GPT valódi gazdasági hatása végső soron a TFP növekedési ütemének felgyorsításában mérhető.

Generatív mesterséges intelligencia (genAI) és általános mesterséges intelligencia (AGI)

A genAI olyan mélytanulási modelleket foglal magába, amelyek képesek új, eredeti tartalmat létrehozni a betanult adatok mintázatai alapján, nem csupán osztályozni vagy előre jelezni (Calvino és mtsai., 2025). Gazdasági oldalról az egyik fő várakozás az, hogy a genAI hozzájárul az ügyviteli és kreatív munkafolyamatok automatizálásához, amire a korábbi technológiák nem, vagy csak nagyon csekély mértékben voltak képesek. Makrogazdasági szinten a technológia innovációs hullámot indíthat el, ami potenciálisan magasabb, tartós gazdasági növekedéshez vezethet.

A napjainkban is elérhető genAI-t az optimisták továbbgondolják. E továbbgondolt technológia több fantáziánév alatt fut, melyek közül az egyik leggyakoribb az általános mesterséges intelligencia (artificial general intelligence). Az AGI (Goertzel & Pennachin, 2007) tehát egy hipotetikus, jövőbeli állapot, ami a gépi gondolkodásnak olyan szintjét jelöli, amely minden intellektuális feladatot képes megoldani legalább olyan szinten, mint egy átlagos ember. Míg a genAI egy specifikus képesség (automatizált tartalomgyártás), az AGI az emberi értelem teljes spektrumának gépi megfelelője. A kettő közti különbség kulcsfontosságú lesz a növekedési modellek tárgyalásánál. Az AGI még inkább továbbgondolt változata a szuperintelligencia, ami mindazt, amire az emberek képesek, emberfeletti tudással-készségekkel tudja elvégezni (Bostrom, 2014).

A termelékenységi J-görbe

Jovanovic & Rousseau (2005) kimutatták, hogy mind az elektromosság (1890-es évek), mind az IT (1970-es évek) megjelenése után a termelékenység növekedési üteme nemhogy emelkedett volna, hanem átmenetileg csökkent a megelőző időszakhoz képest. Ez a híres Solow-paradoxon (Brynjolfsson, 1993), amit Robert Solow szállóigévé vált megfigyelése nyomán neveztek így el (Solow, 1987: „mindenütt látni lehet a számítógép-korszakot, kivéve a termelékenységi statisztikákat”).

A GPT-k késleltetett hatásának egyik magyarázata az ún. termelékenységi J-görbe elmélet (Brynjolfsson és mtsai., 2021). Az elmélet szerint egy új GPT bevezetésekor a gazdaság először egy beruházási fázison megy keresztül, és csak ezt követi a megtérülési fázis. A beruházás szakaszban (a J-görbe alja) a GPT önmagában még nem sokat ér, jelentős kiegészítő beruházásokat igényel. Az elektromosság esetében ilyen kiegészítő beruházások, tevékenységek voltak a gyárak teljes újratervezése (a gőzhajtású központi tengely helyett egyedi elektromos motorok), a munkafolyamatok átalakítása (pl. futószalag), vagy a munkaerő átképzése. Ezek a beruházások (fejlesztés, képzés, szervezeti átalakítás) rendkívül költségesek, és a statisztikai mérésük nehéz. A GDP-statisztikák ezeket a láthatatlan beruházásokat költségként, nem pedig azonnali haszonként könyvelik el. Mivel elvonják az erőforrásokat a meglévő termeléstől, az eredményük a mért termelékenység stagnálása vagy akár csökkenése.

A második, megtérülési fázis (a J-görbe szára) évekkel, de inkább évtizeddel később jelentkezik, amikor a kiegészítő beruházások beérnek. Megtörténtek a szervezeti, üzleti és munkaerőpiaci átalakulások, és ekkor a termelékenység nemcsak visszatér az eredeti szintre, hanem egy új, meredekebb növekedési pályára áll.

Ha a J-görbe hatás a genAI-nál is megfigyelhető, márpedig nincs okunk azt gondolni, hogy ez ne lenne így, akkor jelenleg a J-görbe alján, a beruházási fázisban vagyunk. Egyelőre a technológia kialakításának és működtetésének kiadásait látjuk, de a makroszintű TFP-adatokban a hasznok alig jelennek meg. Brynjolfssonék elmélete az üzeni, hogy ez nem a kudarc jele, hanem az átalakulás normális velejárója.

A genAI igen jelentős kiegészítő befektetést igényel, és ennek csak egy része a jól látható száz és ezermilliárdos videokártya vásárlások, ill. adatközpont beruházások (az Economist becslése szerint 2028-ig 3 ezer milliárd dollárt fordítanak adatközpontok építésére, amely költség közel fele a videokártya megvásárlása - The Economist, 2025). E mellett óriási immateriális tőkefelhalmozás zajlik, ami a statisztikákban nehezen mérhető: a szervezeti folyamatok újratervezése, hogy a genAI köré lehessen szervezni a tevékenységeket; új adatstratégia kidolgozása, amely magába foglalja a vállalati adatok gyűjtésének, tisztításának, címkézésének és biztonságos kezelésének új módzatait; a munkavállalók képzése és a vállalati kultúra alakítása, hogy az alkalmazottak értsék, mikor bízhatnak a genAI-ban, és mikor van szükség ellenőrzésre. A J-görbe alja azért mély, mert ez az immateriális tőke-befektetés azonnali költség, míg a haszna (a TFP-növekedés) csak évek múlva jelentkezik.

A J-görbe hatáshoz kapcsolódóan érdemes megemlíteni az irodalomban mérési paradoxonként emlegetett jelenséget. A legtöbb elemzés a TFP-re fókuszál, ami a mért kibocsátás (GDP) növekedésének része. A mérési paradoxon úgy is felbukkanhat, ha a GenAI hasznának jelentős része kívül esik a hagyományos GDP-mérésen. Ha egy orvos a GenAI segítségével 10 perc alatt jobb diagnózist ad, mint korábban 30 perc alatt, a GDP-statisztika, ami a vizit árát méri, nem sokat változik, a jólét viszont jelentősen. Brynjolfsson és mtsai. (2025) egy kiegészítő makroökonómiai mérőszámra tesznek javaslatot, amit GDP-B-nek (Gross Domestic Product – Benefit) neveztek el. Míg a hagyományos GDP a piaci tranzakciókra fókuszálva a kibocsátás pénzben kifejezett értékét méri, a GDP-B a fogyasztói többletet veszi alapul, ezáltal számszerűsítve azokat a jelentős gazdasági előnyöket, amelyek a zero vagy rendkívül alacsony áron elérhető digitális technológiákból származnak. A genAI és az ingyenes digitális szolgáltatások növekvő arányával a gazdaságban a konvencionális GDP egyre inkább alábecsüli a tényleges gazdasági jólétet és a technológiai innovációból eredő társadalmi hasznót. A szerzők úgy becsülik, hogy a Facebook vagy az okostelefonok által biztosított jólétnövekedés éves szinten tizedszázalékokban mérhető (kísérleti körülményekre alapozott számításaik szerint a jólét éves növekedését a Facebook 0,05-0,1 az okostelefon 0,63 százalékkal emelte).

Az új technológiában rejlő lehetőségek

Bresnahan GPT-vel szemben támasztott hármast elvárását a genAI is teljesítheti. Számos, a technológia jövőjét és következményeit vizsgáló tanulmány következtetése annak megbecslésén múlik, hogy mennyire közelítenek a genAI képességei az AGI-hoz: csak bizonyos területeken lesz képes a szellemi munkát helyettesíteni, vagy pedig minden feladatban az emberekkel azonos szintű teljesítményre lesz képes. A digitalizáció irodalmának alaptörvénye, hogy a számítástechnika és a digitális környezet fejlődését exponenciális trend írja le (Brynjolfsson & McAfee, 2014). A számítási és tárolási kapacitás minden időszakban megduplázódik, közben a használat költségei feleződnek és ennek köszönhetően az eszközök

egyre szélesebb körben elérhetőek. Ennek megfelelően a genAI-ban rejlő potenciált három területen mutatom be: 1) mire lehet képes a jelenlegi megoldások nagyságrendekkel való kiterjesztése (skálázhatóság); 2) milyen mértékű javulás tapasztalható az egymást követő generációkban (fejlődési ütem); és 3) mennyibe kerül a modellek kifejlesztése, ill. folyamatos használata (költségszerkezet).

Skálázhatóság

2018 óta, amikor az OpenAI megjelent a GPT-1 modelljével, a genAI fejlődését nagyrészt az extenzív skálázási törvények hajtották: a több adat, számítási kapacitás és paraméter, ill. az ezekkel létrehozott nagyobb modellek jobb teljesítményt eredményeznek. Kérdés, hogy ez a trend meddig folytatódhat.

Sevilla és mtsai. (2024) elemzése rendkívül optimista. A lehetséges szűk keresztmetszetek áttekintése után megállapítják, hogy a trend minimum 2030-ig tartható lesz. A genAI modellek betanítására fordított számítási kapacitás évente négyszeresére növekszik. Ez azt jelenti, hogy 2030-ra egy olyan modellt lehet betanítani, amely annyival múlja felül a 2024-es GPT-4-et, mint amennyivel a GPT-4 felülmúlta a 2019-es GPT-2-t. Összehasonlításként: a GPT-2 alig tudott koherens mondatokat írni, míg a GPT-4 komplex esszét ír és működőképes programkódot generál. Bár ehhez szédületes, tízezerszeres számítási kapacitásra lesz szükség, a tanulmány szerint az ehhez szükséges elektromos áram, videokártya mennyiség és (részben szintetikus) adatmennyiség rendelkezésre fog állni.

A hozzáférhető adatok képezte korlátról hasonló következtetésekre jutnak az Epoch AI kutatói is (Villalobos és mtsai., 2022). A technikai és műszaki szűk keresztmetszetek mellett ugyanakkor a társadalmi korlátok is hatást gyakorolhatnak a skálázhatóságra. Kérdés, hogy az emberek által létrehozott szövegek mellett a korábbi modellekkel generált szintetikus tartalmak, ill. az ún. multimodális tartalmak felhasználása enyhítheti-e ezt a korlátot. Komoly bizonytalanságot jelent a technológia szabályozói kezelése, a betanításhoz használt adatok szerzői jogainak bizonytalansága (McKenna és mtsai., 2025).

Az aggodalmak figyelembevétele mellett megállapítható, hogy a modellek fejlesztésén dolgozók prognózisai szerint a technológia még messze nem érte el a határait. A folyamatosan fejleszthetőség GPT-kritériuma egyelőre teljesülni látszik.

Fejlődési ütem

Bár csak néhány évnyi adatunk van a genAI különböző generációinak teljesítményéről, ezek alapján a fejlődési ütem szédítőnek mondható. 2025-ig az egyik legismertebb teszt, amivel a genAI tudását mérték, a Hendrycks és mtsai. (2020) által kidolgozott Massive Multitask Language Understanding (MMLU) nevű rendkívül átfogó vizsga. Az MMLU azt méri, hogy mennyire széleskörű és mély a modell tudása, és mennyire képes a többfeladatos problémamegoldásra. A teszt több mint 15.000 feleletválasztós kérdést tartalmaz, amelyek 57 különböző tématerületet fednek le. A kérdések között egyaránt vannak kezdő szintű és professzionális nehézségű problémák. Bár a kérdéseket eredetileg úgy tervezték, hogy a tesztelt modellek ne teljesítsenek sokkal jobban, mint amit a véletlen diktálna (25%), a teszt használatát 2024 végén felfüggesztették, mert az akkoriban kijött modellek eredménye megközelítette a 100%-ot (ld. 1. táblázat).

1. táblázat. A különböző genAI modellek teljesítménye az MMLU teszten (maximum elkérhető eredmény: 1).

Modell	MMLU minden tématerület - EM
Claude 3.5 Sonnet (20241022)	0,873
DeepSeek v3	0,872
Gemini 1.5 Pro (002)	0,869
Llama 3.1 Instruct Turbo (405B)	0,845
GPT-4o (2024-08-06)	0,843
Amazon Nova Pro	0,82
Palmyra-X-004	0,813
Mistral Large 2 (2407)	0,8
GPT-3.5 Turbo (0125)	0,673

Forrás: saját szerkesztés Mai & Liang (2024) alapján

Mivel a korábbi mérőeszközök elérték a telítődési pontot, szükségessé vált egy új, nehezebb rendszer bevezetése a valódi tudásszint mérésére. Erre a célra készült a Humanity's Last Exam (HLE), egy több tucat diszciplínát lefedő, az emberi tudás határait súroló, 2500 kérdésből álló multimodális teszt (Phan és mtsai., 2025). A HLE abban tér el az MMLU-tól, hogy a kérdései szakértői szintűek, nem válaszolhatók meg egyszerű internetes kereséssel, és a jelenlegi legfejlettebb modellek is alacsony pontossággal teljesítenek rajta. Bár valószínűleg nincs olyan tudós, aki minden szakterületen elérné a 25%-ot, az egyes tudományterületek komoly szakértői a saját területükön bőven 90% fölött érnek el, tehát e teszt szerint a genAI még nagyon messze van a csúcsszakértői szinttől. A fejlődés üteme ugyanakkor itt is szembetűnő (2. táblázat).

2. táblázat. A különböző genAI modellek teljesítménye a HLE teszten (maximum elkérhető eredmény: 100%).

Modell	Teszteredmény
GPT-5 (high)	26,50%
Grok-4	23,90%
Gemini 2.5 Pro	21,10%
GPT-5 (low)	18,40%
DeepSeek V3.1	13,00%
Claude 4.1 Opus	11,90%
Gemini 1.5 Pro (zip)	4,90%

Llama 4 Maverick	4,80%
Mistral Medium 3.1	4,40%
Claude 4 Sonnet	4,00%
GPT-4o (ChatGPT)	3,70%

Forrás: saját szerkesztés a <https://artificialanalysis.ai/evaluations/humanitys-last-exam> alapján

A Stanford kutatói által évente kiadott AI Index Report 2025 (Maslej és mtsai., 2025, o. 94) ugyancsak szemléletesen mutatja a genAI fejlődését. Ha az emberi átlaghoz viszonyítunk, a genAI képfelismerésben (ImageNet Top-5) 2015-ben, olvasott szöveg értésében (SQuAD 2.0) 2018-ban, angol nyelvi tudásban (SuperGLUE) 2021-ben vált emberfelettivé. A korábban megközelíthetetlennek hitt területek, mint a versenyszintű matematika (MATH) vagy a PhD-szintnek megfelelő természettudományos kérdések megválaszolása (GPQA Diamond) 2023-2024-től kezdődően szintén elérték az átlagemberek szintjét.

Összefoglalóan, a genAI egyre komplexebb, egyre inkább kognitív jellegű feladatokat old meg, és gyorsan fejlődik, sőt, a fejlődés üteme mintha gyorsulna, hiszen a képfelismerésben sokkal több évbe telt elérni az emberi átlagot, mint a versenyszintű matematikában. Ez utóbbi területen a 2021-es modellek az emberi átlag tizedét tudták csak hozni, három éven belül viszont elérték a 100%-ot.

Költségszerkezet

A jó GPT nemcsak jó, hanem olcsó is kell legyen, különben nem tudja a korábbi technológiákat leváltani. E területen kettős tendenciát látunk, ami összhangban van azzal az általános, digitális tartalmakra vonatkozó megfigyeléssel, hogy az első példány létrehozásának költsége aránytalanul nagy (ráadásul elsüllyedt költségnek tekinthető), míg az összes többi példány már szinte észrevehetetlenül alacsony költség mellett biztosítható (Brynjolfsson & McAfee, 2014).

Brynjolfsson és McAfee modelljét használva, az első példány létrehozásának költsége a genAI esetén a betanítási költségeket jelenti. Ez egy ijesztő, logaritmikus skálán felfelé ívelő görbe. Míg 2018-ban egy modellt pár tízezer dollárból be lehetett tanítani, addig a 2024-es modellek (GPT-4, Gemini Ultra) költsége már a 100 millió dollárt is meghaladja (Maslej és mtsai., 2025, o. 67). A betanítás egyre komolyabb belépési korlátot képez, ami idővel egészen biztosan mérsékli a nagy modellekkel rendelkező cégek számát.

Felhasználói oldalról nem a tanítási, hanem a használati költség számít. Ez utóbbi a Brynjolfsson/McAfee modell további példányok létrehozási költségével állítható párhuzamba, és ezen a területen a trend a betanítási költségekkel ellentétes. Maslej és mtsai. (2025, o. 64) jelentéséből az olvasható ki, hogy 1 millió token (kb. 750 000 szó) feldolgozásának költsége rendkívül gyorsan csökken. A GPT-3.5 szintű képességek ára 2023 eleje óta nagyjából a századára esett 2025-re. Sam Altman, az OpenAI vezetőjének kijelentése szerint a felhasználási költségekben is exponenciális trend érvényesül, ráadásul rendkívül drámai: „Egy adott szintű AI használatának költsége évente a tizedére esik” (Altman, 2025). A felhasználás zuhanó költsége olyan új megfigyelés, ami még 2023-24-ben sem volt magától értetődő. A ChatGPT 2022 év végi nyilvános bemutatása után sokakban megfogalmazott a gyanú, hogy a technológia a Douglas Adams által megálmodott szuperszámítógéphez hasonlóan – melynek hét és fél millió évébe kerül, hogy végül közölje a választ (42) a neki feltett kérdésre (Adams, 2023) – egy idő után már csak vállalhatatlanul magas költségekkel működtethető.

Ez a kettősség (extrém magas fix költség, alacsony és gyorsan csökkenő határköltség) klasszikus GPT-jellemző. Ahogy az elektromossághoz is drága erőműveket kellett építeni,

hogy utána a konnektorból olcsón jöjjön az áram, úgy az MI-hez is drága modelleket kell létrehozni, hogy utána a gondolataikat fillérekként lehessen használni. Ez a drámai áresés a diffúzió, a széles körű elterjedés motorja. E tekintetben a genAI nem különbözik az IT-től, egy korábbi GPT-től, melyet ugyancsak a csökkenő, bizonyos esetekben nullának mondott határkölség jellemez (Frank és mtsai., 2023).

Mikrogazdasági hatások

Míg a makroszintű TFP-adatok (a J-görbe miatt) még nem mutatják az áttörést, a mikroszintű, vállalati tanulmányok már egyértelműen bizonyítják a termelékenységi előnyöket. Ezek a tanulmányok a J-görbe "kanyarjának" első jelei.

- > A Boston Consulting Group 758 tanácsadója körében végzett felmérés szerint azok, akik használhatták a ChatGPT-4-et 18 típusú feladat ellátására, 12,2%-kal több feladatot végeztek el, 25,1%-kal gyorsabban (Dell'Acqua és mtsai., 2023).
- > A genAI egyik leggyakoribb felhasználása a programozás területén figyelhető meg. A nyílt forráskódú, nyilvánosan hozzáférhető programok legnagyobb platformja a Microsoft GitHub nevű szolgáltatása, melynek sok millió felhasználója van. Ezen a platformon elérhető a Copilot, egy programozást segítő alkalmazás. Több tanulmány vizsgálta, hogy a Copilot használata milyen hatással van a programozók teljesítményére. Egy 2023-as tanulmány, amelyben majdnem egymillió felhasználót vizsgáltak, azt találta, hogy a Copilot által felajánlott programkód 30%-át elfogadták (Dohmke és mtsai., 2023). Egy másik kutatás hosszabb ideig követte nyomon 1373 GitHub Copilot felhasználó LinkedIn profilját, és arra jutott, hogy a genAI használata javítja a karrierlehetőségeket (Li és mtsai., 2025). Egy harmadik tanulmány három nagy szoftvercég 4867 fejlesztőjét követte, és megállapította, hogy genAI-alapú programozósegéddel 26,07%-al több feladatot lehet teljesíteni (Cui és mtsai., 2024).
- > A Science-ben jelent meg az a tanulmány, amelyben 453 diplomást vizsgálva megállapítják a szerzők, hogy különböző specializált szövegek megírásakor a ChatGPT-t használók 40%-al hamarabb végeztek, és a munka minősége 18%-al emelkedett (Noy & Zhang, 2023). Ez az eredmény azt mutatja, hogy a genAI használat nemcsak gyorsabb, hanem jobb minőségű munkát is eredményez.
- > Egy másik nagy tekintélyű folyóiratban (The Quarterly Journal of Economics) megjelent elemzés (Brynjolfsson, Li, és mtsai., 2025) 5172 vevőszolgálati munkát végző munkatársat mért, és arra jut, hogy genAI-eszközökkel 15%-kal több feladatot láttak el. A hatás a tapasztalatlanabb, alacsonyabb képzettségű munkatársaknál volt a legerősebb, segítve őket a felzárkózásban.
- > Egy szélesebb körű ökonometriai vizsgálat 4395 kínai tőzsdei cég teljesítményét tekinti át 2003 és 2022 között. A genAI érintettséget a vállalati beszámolók szövegében előforduló szavak gyakoriságával mérik. A szerzők számításai megerősítik, hogy a genAI technológiák vállalati szintű bevezetése mérhetően (0,046 egységgel) növeli a TFP-t (Cao és mtsai., 2025).

A genAI bevezetésének szinte azonnali, két számjegyű termelékenységnövekedés az eredménye az idézett empirikus tanulmányok szerint. Különösen a rutin jellegű kognitív feladatoknál (programozás, írás, adminisztráció) erős ez a hatás. Kérdés, hogy ezek a mikroszintű hatások összeadódnak-e makroszintű TFP-növekedéssé.

Növekedési modellek és a szingularitás

Bár a mikroszintű empirikus vizsgálatok eredményei világosak, a szakértők véleménye erősen megoszlik arról, hogy ezek a mikrohatások hogyan képeződnek le a gazdaság egészében. A következőkben elsősorban elméleti modellekre támaszkodó, azokat a rendelkezésre álló kevés makroadat alapján tesztelő elemzések forgatókönyveit mutatom be.

A szkeptikus forgatókönyv

Korunk egyik legbefolyásosabb közgazdásza, óvatosságra int (Acemoglu, 2025). Modellszámításai szerint a genAI a következő 10 évben legfeljebb 0,66%-kal emeli a TFP-t (összesen, nem évente). Érvelése szerint az eddigi mikrotanulmányok olyan tevékenységeket mérnek, ahol a legkönnyebb a genAI bevezetése. Várakozása szerint ahogy a genAI bevezetése a nehezebben automatizálható, komplexebb, hallgatolagos tudást igénylő feladatok felé halad, a termelékenységi nyereség csökkenni fog. Ezért a valós hatást a vizsgált 10 éves időtávon inkább 0,53%-ra teszi. Kitér arra is, hogy az új technológiának számos, negatív társadalmi értéket megtestesítő alkalmazása lehetséges (például a csalás vagy a manipuláció). A szkeptikus forgatókönyv szerint a genAI egy hasznos, de nem forradalmi technológia, ezért makrogazdasági hatása nem hasonlítható a korábbi GPT-khez, például a gőztechnológiához vagy az elektromossághoz.

Acemoglu nincs egyedül a borúlátó oldalon. Hasonlóan szkeptikus az információs technológia és e nyomán a genAI termelékenységre gyakorolt hatásával a termelékenység és a hosszú távú növekedés egyik legnagyobb szakértője (Gordon, 2016), de ide sorolható a korábban már tárgyalt Solow-paradoxonnal foglalkozó tanulmányok sora is (Syverson, 2017).

Az optimista forgatókönyv: a szingularitás

William Nordhaus elemzése komolyan veszi a szingularitás elméleti lehetőségét, vagyis azt, hogy a technológiai haladás önmagát gyorsító, exponenciális pályára áll (Nordhaus, 2021). Tanulmányában azt járja körbe, hogy milyen feltételek mellett valósulhat meg ez a sci-fibe illő forgatókönyv. Három lehetséges módot vázol fel (3. táblázat).

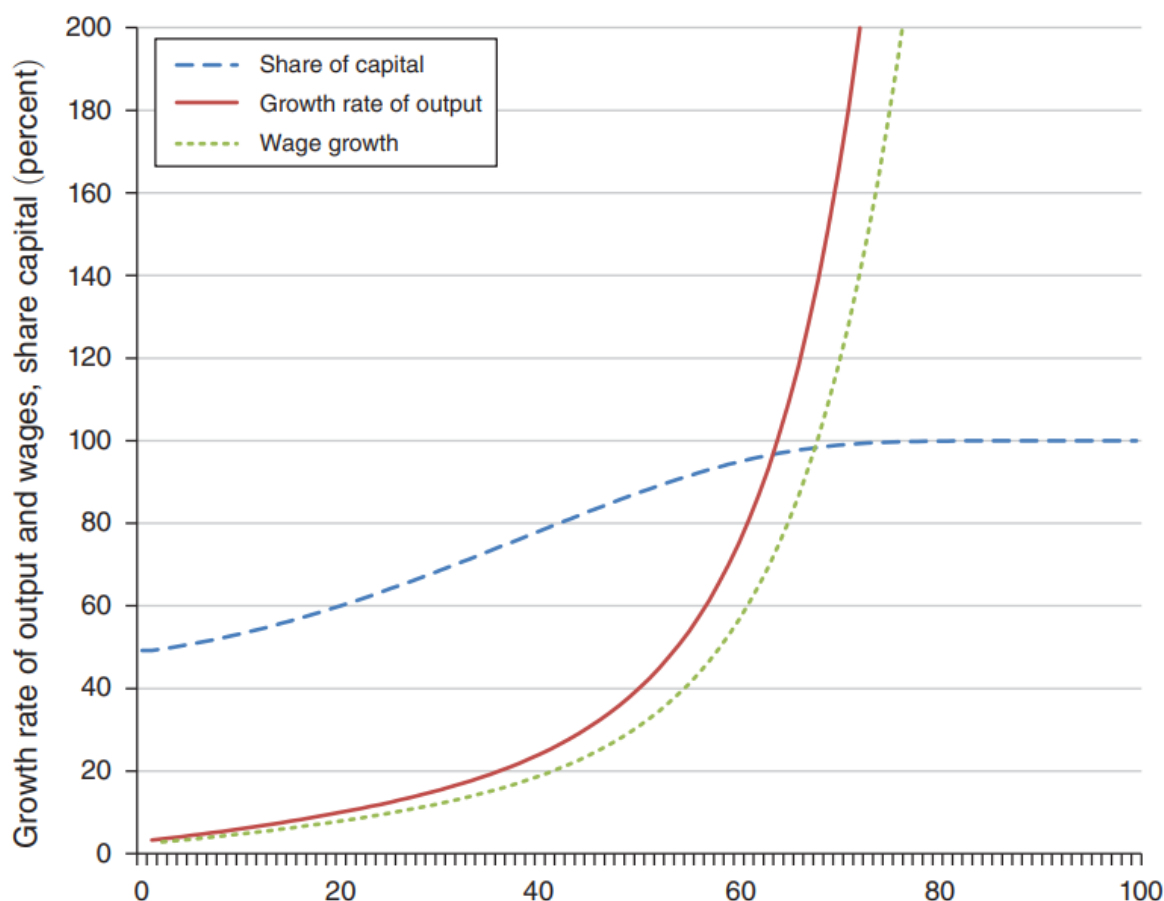
3. táblázat. A gazdasági szingularitás Nordhaus-féle forgatókönyvei

Forgatókönyv	Feltétel	Következmény	Valószínűség
1. Szuperintelligencia a technológiában	A technológiai haladás üteme endogénné és gyorsuló üteművé válik (pl. a mesterséges intelligencia fejleszt újabb, jobb technológiát)	Gyorsuló technikai haladás → Exponenciális növekedés a TFP-ben	Nagyon valószínűtlen - a tartós gyorsulás bizonyítékai nem láthatók
2. Kereslet oldali (ellen-Baumol-hatás)	A fogyasztói kereslet eltolódik a gyorsan fejlődő (magas	A gazdasági növekedés átlagos ütemét emeli a Baumol-hatással ellentétes módon: a	Alacsony, empirikus adatok által nem visszaigazolt - a keresleti

	produktivitású) ágazatok felé (pl. digitális szolgáltatások és genAI-termékek)	növekvő szektorok húzzák fel az aggregált termelékenységet	súlyú	rugalmasság nem látszik elegendőnek ehhez a drasztikus átrendeződéshez
3. Kínálat oldali (Tőkemélyülés)	A termelésben az inputok aránya a gyorsan, automatizáltan és szinte ingyen előállítható információs tőke felé tolódik el és közelít a 100%-hoz	Az emberi munkaerő szerepe minimálisra csökken a termelési függvényben, és a gyorsuló technológiateremtés révén exponenciális a növekedés		Nagyon alacsony - a helyettesítési rugalmasság korlátozottnak tűnik, az emberi munkaerő szinte teljes kizárása a termelésből nem reális feltételezés

Forrás: saját szerkesztés Nordhaus (2021) alapján

2. ábra. Gazdasági szingularitás a kínálati oldali Nordhaus-forgatókönyv szerint



Megjegyzés: A piros és zöld görbék éves növekedési mértéket mutatnak, a vízszintes tengely az évek múlását
Forrás: Nordhaus (2021, o. 313)

Nordhaus következtetése az, hogy a gazdasági szingularitás megvalósulása a jelenlegi adatok és a gazdasági alaptörvények tükrében elméleti lehetőségként létezik, de nem várható rövid

távon. A szingularitás eléréséhez a hagyományos termelési és keresleti korlátoknak drasztikusan át kellene alakulniuk. Amennyiben ez megtörténik, a gyorsuló ütemű növekedés elméletileg elérhető. Ennek megvalósulására mutat példát a 2. ábra, amit a harmadik, tőkemélyüléssel forgatókönyv alapján szimulált Nordhaus. Azt feltételezte, hogy a munkaerő állandó, a technikai haladás évente 10%-al növeli a tőke (információs tőke) hatékonyságát és a munka és tőke közötti helyettesítés rugalmassága 1,25.

További lehetséges forgatókönyvek

Trammell és Korinek (2023) ugyancsak azt vizsgálják, hogy megváltoztathatja-e a genAI a gazdaság működésének eddig elfogadott szabályait. Ilyen szabály például az, amit Káldor-féle stilizált tényeknek is szokás nevezni, hogy hosszú távon az egy főre eső kibocsátás bővülésének üteme és a munka-kibocsátás aránya nem változik. Számos forgatókönyvet állítanak fel, amelyek eltérő technológiai megoldásokat és visszacsatolási folyamatokat feltételeznek. A tanulmány a növekedési forgatókönyveket aszerint kategorizálja, hogy a genAI milyen mértékben helyettesíti a munkát, és milyen a technológiai fejlődés endogén természete. A forgatókönyvek egyik típusa azon feltétel mellett született, hogy a genAI képes a kibocsátási folyamat automatizálására, a másik típusa pedig azt feltételezi, hogy a genAI magát az ötletgenerálást is automatizálja. Röviden a két folyamat jelentőségéről: a kibocsátás automatizálása azt jelenti, hogy a termelési folyamat (szinte teljesen) olyan inputokra támaszkodik, amik tőkeként írhatók le. Ez egy meghatározott automatizált technológiát feltételez, mely technológiát külső, nem automatizált szereplők alakítják. Amennyiben az ötletgenerálás automatizált, ez azt jelenti, hogy a genAI magának a technológia megújításának, vagyis az innovációnak a folyamatát és átveszi.

Az automatizált kibocsátás forgatókönyvei azt mutatják, hogyan hat a növekedésre, ha a termelést meghatározó tényezőket (munkaerő és/vagy tőke) teljesen vagy részlegesen automatizálják különböző helyettesítési rugalmasságú termelési függvények mellett.

- > Tökéletes helyettesítés esetén az automatizálás tökéletesen helyettesíti a munkát, a gazdasági növekedési ráta dupla-exponenciális növekedéssé válik. Ez a szingularitáshoz vezető, igen gyorsuló növekedést jelenti.
- > Korlátozott helyettesíthetőség esetén a hagyományos Cobb-Douglas függvény korlátozza a növekedési rátát. Ilyenkor a növekedés mértéke csak emelkedik, de nem vezet szingularitáshoz.
- > Amennyiben a kibocsátási folyamatban szerepet játszik egy korlátos természeti erőforrás is, a munka-tőke tökéletes helyettesíthetősége esetén sem kell szingularitással számolni. A növekedés mértéke esetleg emelkedhet, de még a hosszú távú stagnálás is egy lehetséges kimenet.

Azok a forgatókönyvek, amelyek a technológiai fejlődés (ötletgenerálás, kutatás és fejlesztés) automatizálását is feltételezik, szintén többféle kimenettel rendelkeznek.

- > Ha a kutatás-fejlesztés visszacsatolási mechanizmusa gyenge, a növekedés üteme emelkedik, de nem éri el a szingularitást.
- > Ha a visszacsatolási pont kritikus szinten van, a növekedés dupla-exponenciális üteművé válik.
- > Ha a visszacsatolási mechanizmus erős, a növekedés hiperbolikussá válik, ami a technológiai szingularitás legszélsőségesebb, leggyorsabb formája.

Összegezve, a gazdasági szingularitás elérése nagymértékben függ attól, hogy a genAI tökéletesen helyettesíti-e a termelésben a munkát, ill. azon, hogy a visszacsatolási mechanizmuson keresztül képes-e tartósan és gyorsulón automatizálni a saját fejlesztését.

Amennyiben léteznek korlátos erőforrások, ezek még a tökéletes helyettesítés mellett is limitálják az exponenciális növekedést.

Összegzés

„Képzeljük el a kapitalista rendszert végtelen számú gyakornokkal.” E mondást az internetes források néha Sam Altmannak, néha Benedict Evansnak tulajdonítják. Néha valaki másnak. Mivel az eredeti forrás nem fellelhető, még az is lehet, hogy a mondás a genAI szüleménye. Az eredettörténetől függetlenül ez a mondat jól illusztrálja a genAI és a gazdaság jelenlegi kapcsolatát, és a kapcsolatban rejlő kettősséget.

A genAI jelenleg sokban hasonlít a gyakornokra: rendkívül olcsó és használata egyre olcsóbbá válik; képes elvégezni a rutinfeladatokat; felszabadítja a tapasztalt munkaerőt a magasabb hozzáadott értékű, stratégiai feladatokra; ráadásul segít az újaknak gyorsabban tanulni. Ez az analógia magyarázza az Acemoglu-féle mérsékelt növekedési várakozásokat: a gyakornokok hasznosak, de a vállalatot nem ők vezetik.

Ha túllépünk a jelen képességein, és a skálázhatóság, ill. a teljesítményjavulás trendjeit vesszük kiindulási pontként, eljátszhatunk a gondolattal, hogy mi történik, ha a gyakornok exponenciális ütemben tanul? Ha ez előfordulhat, a gyakornok holnapra jobb lesz, mint a szenior menedzser, sőt, egy nap jobb lesz, mint maga a vezérigazgató, aki új stratégiákat talál ki és új technológiákat vezet be.

Az elemzés alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a mesterséges intelligencia minden kritériumnak megfelel, hogy általános célú technológiának tekintsük. Folyamatosan fejlődik, a gazdaság minden szegmensében alkalmazható, és mélyreható innovációs komplementaritással bír. A korábbi GPT-k (elektromosság, IT) tapasztalatai alapján tudjuk, hogy a hatása késleltetve jelentkezik. Jelenleg a termelékenységi J-görbe beruházási fázisában járunk, ahol a mikroszintű előnyök már látszanak, de a makroszintű TFP-robbanás még várat magára.

A technológia potenciálja és a használatának gyorsan eső költsége azt vetíti előre, hogy a diffúzió gyors lesz. A végső gazdasági hatás nagyságrendje azonban nyitott kérdés. A skála Acemoglu mérsékelt TFP-növekedésétől a Nordhaus és Trammel/Korinek által vázolt exponenciális növekedési forgatókönyvekig terjed. A társadalmi kimenetel pedig attól függ, hogy a genAI az emberi munka kiegészítőjévé vagy helyettesítőjévé válik-e.

Irodalomjegyzék

- Acemoglu, D. (2025). The simple macroeconomics of AI. *Economic Policy*, 40(121), 13–58. <https://doi.org/10.1093/epolic/eiae042>
- Adams, D. (2023). *Galaxis Útikalauz stopposoknak—A világ leghosszabb trilógiája öt részben*. Gabo Könyvkiadó Kft.
- Allen, R. C. (2009). *The British Industrial Revolution in Global Perspective* (1. kiad.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816680>
- Altman, S. (2025). Three observations. *Samaltman.blog*. <https://blog.samaltman.com/three-observations>
- Bergeaud, A., Cette, G., & Lecat, R. (2018). The role of production factor quality and technology diffusion in twentieth-century productivity growth. *Cliometrica*, 12(1), 61–97. <https://doi.org/10.1007/s11698-016-0149-2>
- Bostrom, N. (2014). *Superintelligence: Paths, dangers, strategies* (First edition). Oxford University Press.

- Brynjolfsson, E. (1993). The productivity paradox of information technology. *Communications of the ACM*, 36(12), 66–77. <https://doi.org/10.1145/163298.163309>
- Brynjolfsson, E., Collis, A., Diewert, W. E., Eggers, F., & Fox, K. J. (2025). GDP-B: Accounting for the Value of New and Free Goods. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 17(4), 312–344. <https://doi.org/10.1257/mac.20210319>
- Brynjolfsson, E., Li, D., & Raymond, L. (2025). Generative AI at Work. *The Quarterly Journal of Economics*, 140(2), 889–942. <https://doi.org/10.1093/qje/qjae044>
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.
- Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2021). The Productivity J-Curve: How Intangibles Complement General Purpose Technologies. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 13(1), 333–372. <https://doi.org/10.1257/mac.20180386>
- Calvino, F., Haerle, D., & Liu, S. (2025). *Is generative AI a General Purpose Technology?: Implications for productivity and policy* (40. kiad., OECD Artificial Intelligence Papers) [OECD Artificial Intelligence Papers]. <https://doi.org/10.1787/704e2d12-en>
- Cao, Y., Hao, L., Kou, L., Zhou, J., & Zou, L. (2025). Whether, How and When Do Artificial Intelligence Technologies Improve Enterprise Total Factor Productivity? *Journal of Internet Technology*, 26(2), 241–253. <https://doi.org/10.70003/160792642025032602009>
- Crafts, N. (2004). Steam as a General Purpose Technology: A Growth Accounting Perspective. *The Economic Journal*, 114(495), 338–351.
- Cui, Z., Demirer, M., Jaffe, S., Musolff, L., Peng, S., & Salz, T. (2024). *The Effects of Generative AI on High Skilled Work: Evidence from Three Field Experiments with Software Developers*. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4945566>
- Dell’Acqua, F., McFowland III, E., Mollick, E., Lifshitz-Assaf, H., Kellogg, K. C., Rajendran, S., Kraymer, L., Candelon, F., & Lakhani, K. R. (2023). *Navigating the Jagged Technological Frontier: Field Experimental Evidence of the Effects of AI on Knowledge Worker Productivity and Quality* (Nos. 24–013; Harvard Business School Working Paper, o. 58). Harvard Business School. <https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=64700>
- Dohmke, T., Iansiti, M., & Richards, G. (2023). *Sea Change in Software Development: Economic and Productivity Analysis of the AI-Powered Developer Lifecycle* (No. arXiv:2306.15033). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.15033>
- Fayol, H. (2016). *General and Industrial Management* (C. Storrs, Ford.). Ravenio Books. <https://books.google.hu/books?id=WFp5DQAAQBAJ>
- Frank, R., Schumacher, G., & Tamm, A. (2023). The Road to a Zero Marginal Cost Economy. In R. Frank, G. Schumacher, & A. Tamm, *Cloud Transformation* (o. 45–73). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-38823-2_3
- Gordon, R. J. (with JSTOR (Organization)). (2016). *The rise and fall of American growth: The U.S. standard of living since the Civil War*. Princeton University Press.
- Grinin, L., Korotayev, A., & Tausch, A. (2016). Kondratieff Waves in the World System Perspective. In L. Grinin, A. Korotayev, & A. Tausch, *Economic Cycles, Crises, and the Global Periphery* (o. 23–54). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41262-7_2
- Hendrycks, D., Burns, C., Basart, S., Zou, A., Mazeika, M., Song, D., & Steinhardt, J. (2020). *Measuring Massive Multitask Language Understanding* (Verzió 3). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2009.03300>
- Jovanovic, B., & Rousseau, P. L. (2005). General Purpose Technologies. In *Handbook of Economic Growth* (Köt. 1, o. 1181–1224). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0684\(05\)01018-X](https://doi.org/10.1016/S1574-0684(05)01018-X)

- Kondratieff, N. D. (1979). The Long Waves in Economic Life. *Review*, 2(4), 519–562.
- Li, X., Costello, F. J., Kim, K., & Zhang, X. (Michael). (2025). *Assessing Open Source Software Developer's Opportunity Costs in a Time of Generative AI*. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5100609>
- Maddison, A. (2001). *The World Economy: A Millennial Perspective*. OECD Development Centre Seminars.
- Mai, Y., & Liang, P. (2024). *Massive Multitask Language Understanding (MMLU) on HELM*. Stanford University. <https://crfm.stanford.edu/2024/05/01/helm-mmlu.html>
- Maslej, N., Fattorini, L., Perrault, R., Gil, Y., Parli, V., Kariuki, N., Capstick, E., Reuel, A., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ligett, K., Lyons, T., Manyika, J., Niebles, J. C., Shoham, Y., Wald, R., Walsh, T., Hamrah, A., Santarlasci, L., ... Oak, S. (2025). *Artificial Intelligence Index Report 2025* (Verzió 2). Institute for Human-Centered AI, Stanford University. <https://arxiv.org/abs/2504.07139>
- McKenna, R., Huang, Y., Sinha, A., Balle, B., Charles, Z., Choquette-Choo, C. A., Ghazi, B., Kaissis, G., Kumar, R., Liu, R., Yu, D., & Zhang, C. (2025). *Scaling Laws for Differentially Private Language Models* (Verzió 1). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2501.18914>
- Mokyr, J. (1992). *The Lever of Riches*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195074772.001.0001>
- Nordhaus, W. D. (2021). Are We Approaching an Economic Singularity? Information Technology and the Future of Economic Growth. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 13(1), 299–332. <https://doi.org/10.1257/mac.20170105>
- Noy, S., & Zhang, W. (2023). Experimental evidence on the productivity effects of generative artificial intelligence. *Science*, 381(6654), 187–192. <https://doi.org/10.1126/science.adh2586>
- Phan, L., Gatti, A., Han, Z., Li, N., Hu, J., Zhang, H., Zhang, C. B. C., Shaaban, M., Ling, J., Shi, S., Choi, M., Agrawal, A., Chopra, A., Khoja, A., Kim, R., Ren, R., Hausenloy, J., Zhang, O., Mazeika, M., ... Hendrycks, D. (2025). *Humanity's Last Exam* (Verzió 9). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2501.14249>
- Romer, P. M. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002–1037.
- Sevilla, J., Besiroglu, T., Cottier, B., You, J., Roldán, E., Villalobos, P., & Erdil, E. (2024). Can AI Scaling Continue Through 2030? *Epoch.AI*. <https://epoch.ai/blog/can-ai-scaling-continue-through-2030>
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Solow, R. M. (1987). We'd better watch out. *The New York Times*, 36.
- Syverson, C. (2017). Challenges to Mismeasurement Explanations for the US Productivity Slowdown. *Journal of Economic Perspectives*, 31(2), 165–186. <https://doi.org/10.1257/jep.31.2.165>
- Taylor, F. W. (1911). *The Principles of Scientific Management*. Harper.
- The Economist. (2025). What if the \$3trn AI investment boom goes wrong? *The Economist*. <https://www.economist.com/leaders/2025/09/11/what-if-the-3trn-ai-investment-boom-goes-wrong>
- Trammell, P., & Korinek, A. (2023). *Economic Growth under Transformative AI* (No. w31815; o. w31815). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w31815>
- Villalobos, P., Ho, A., Sevilla, J., Besiroglu, T., Heim, L., & Hobbhahn, M. (2022). *Will we run out of data? Limits of LLM scaling based on human-generated data* (Verzió 2). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2211.04325>