

Inteligência Artificial e Farmácia

Artificial Intelligence and Pharmacy

Jiménez L.¹

ARTIGO ORIGINAL | ORIGINAL ARTICLE

RESUMO

A Inteligência Artificial é uma tecnologia que pode contribuir para o desenvolvimento de várias áreas do setor farmacêutico. O objetivo deste trabalho foi descrever aspetos relacionados com a Inteligência Artificial e a Farmácia através de uma revisão narrativa que considerou a seleção de fontes documentais que foram analisadas criticamente. As informações foram estruturadas considerando as aplicações da Inteligência Artificial em Farmácia, desafios, limitações, impacto e possíveis soluções sugeridas na literatura, de acordo com a tipologia. Conclui-se que a Inteligência Artificial em Farmácia melhora a segurança e a eficiência dos processos nos setores profissional, científico e técnico; poupando tempo e recursos, e melhorando as capacidades humanas, com limitações em vários aspetos. Isto oferece oportunidades para que as aplicações se adaptem e alcancem resultados adequados e aceitáveis, de acordo com as necessidades e requisitos.

Palavras-chave: inteligência artificial, farmácia, aplicações, utilizações.

ABSTRACT

Artificial intelligence is a technology that can contribute to the development of several areas of the pharmaceutical sector. The objective of this work was to describe aspects related to artificial intelligence and pharmacy through a narrative review that considered the selection of documentary sources that were critically analyzed. The information was structured considering the applications of artificial intelligence in pharmacy, challenges, limitations, impact and possible solutions suggested in literature, according to the typology. The conclusion is that Artificial Intelligence in Pharmacy improves the safety and efficiency of processes in the professional, scientific, and technical sectors, saving time and resources and enhancing human capabilities, which are limited in several aspects. This provides opportunities for applications to adapt and achieve appropriate and acceptable results, according to needs and requirements.

Keywords: artificial intelligence, pharmacy, applications, uses.

¹Facultad de Farmacia, Instituto de Investigaciones Farmacéuticas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Autor para correspondência: Luis Jiménez; Montes de Oca; Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Submetido/Submitted: 22 de outubro de 2025 | Aceite/Accepted: 14 de março de 2026

INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) surgiu em 1943; sendo que o termo “Inteligência Artificial” foi usado pela primeira vez em 1956. Em 1958, Frank Rosenblatt criou redes neuronais designadas perceptrões (perceptrons), que transmitem a informação numa única direção. Em 1986, Geoffrey Hinton foi decisivo na popularização do algoritmo de retropropagação, amplamente utilizado em aprendizagem profunda, que desde então tem evoluído de várias formas¹⁻⁵. A IA é considerada uma tecnologia de propósito geral e engloba um conjunto dinâmico de técnicas, métodos, competências e processos utilizados na produção de bens e serviços, recorrendo a sistemas computacionais, nomeadamente, a técnicas de *machine learning* e *deep learning*⁴⁻⁶. Podem realizar-se ações que, de outra forma, exigiriam inteligência humana, incluindo tarefas que implicam uma vasta gama de competências: aprendizagem, análise, raciocínio e tomada de decisões, assentes em regras e métodos avançados de aprendizagem automática⁷⁻¹¹.

Pode-se distinguir por exemplo vários tipos de IA, com base no grau e na presença a) estreita ou fraca, b) geral ou forte, c) superinteligência artificial; com base na presença/funcionalidade a) máquina reativa b) sistema de memória limitado c) teoria da mente d) autoconsciência^{2,6}.

Esses tipos de inteligência podem ser usados em Farmácia para criar modelos que geram conhecimento, apoiam a resolução de problemas e a tomada de decisão em farmacointeligência aplicada à polifarmacologia, à Farmácia Hospitalar e à Farmácia Industrial. As plataformas

usadas recorrem a redes neuronais artificiais, incluindo arquiteturas profundas e recorrentes, bem como a aprendizagem automática, aprendizagem profunda e processamento de linguagem natural^{1,2,7,9,12,13,14}.

As redes neuronais convolucionais otimizam a recuperação de informação e a gestão de dados, com estratégias que apoiam a disseminação do conhecimento em ciência farmacêutica através de algoritmos de aprendizagem profunda para agrupar, classificar e analisar padrões em grandes volumes de dados farmacêuticos¹⁵. Assim, a utilização de IA pode melhorar várias atividades na área farmacêutica, permitindo executar tarefas de forma mais simples: otimização das posologias dos medicamentos, definição de diretrizes, disponibilização de assistentes virtuais de saúde, apoio à saúde mental, análise de históricos de medicação e suporte a processos educativos^{1,12,16,17}. Podem implementar-se estratégias adicionais à medida que os farmacêuticos expandem o seu papel para além da dispensa de medicamentos e passam a oferecer uma gama mais ampla de serviços aos doentes. Tal abordagem gera poupanças através de maior controlo dos processos e dos riscos, bem como de redução de tempos e de custos^{1,16,17}.

A otimização dos processos administrativos melhora a comunicação entre doentes e profissionais, facilita mudanças comportamentais e maximiza a utilização de recursos para alcançar maior eficiência, incluindo no tratamento⁷⁻¹⁶⁻¹⁸. Estão em curso trabalhos para reduzir o tempo de desenvolvimento de medicamentos, permitindo prever solubilidade, estabilidade e biodisponibilidade durante o desenvolvimento da formulação¹²⁻¹⁹.

Os ensaios clínicos com monitorização de doentes podem tornar-se mais precisos e eficazes, simplificando a análise de grandes volumes de dados e identificando padrões e ligações com o apoio de diversas ferramentas e tecnologias¹²⁻¹⁹. Todas estas utilizações, quer em investigação quer na prática, implicam desafios e limitações de várias ordens. Muitos investigadores têm levantado questões em diferentes domínios, que importa explicitar.

Dada a atualidade e a relevância do tema, o objetivo deste trabalho foi descrever os principais pontos de contacto entre a IA e a prática farmacêutica.

MÉTODOS

Trata-se de um estudo qualitativo, baseado numa revisão narrativa. Procedeu-se a uma pesquisa na Internet utilizando palavras-chave e termos de pesquisa relacionados com a questão de investigação: “Inteligência Artificial”, “Farmácia”, “usos”, “medicamentos”, “aplicações” e “avanços”.

A seleção dos documentos foi orientada pelas seguintes questões: “Quais as utilizações da IA em farmácia?”, “Quais as limitações e os desafios à aplicação da IA em farmácia?” e “Quais as opiniões dos investigadores sobre o tema?”.

Critérios de inclusão: artigos completos, recentes (preferencialmente dos últimos dois anos), em português, inglês ou espanhol; publicados em revistas científicas de elevada qualidade, com revisão por pares, e provenientes de fontes fidedignas.

Os documentos foram selecionados a

partir da consulta às seguintes bases de dados e portais: *SpringerLink*, *ScienceDirect*, *Elsevier*, *Wiley Online Library*, *PubMed* (U.S. National Library of Medicine, National Institutes of Health), *EBSCO*, *ResearchGate*, *SciELO*, *MDPI* e *Taylor & Francis*.

Os critérios de exclusão foram definidos pelo autor com base na relevância, qualidade e profundidade dos conteúdos que não se adequavam ao objetivo da investigação em curso.

A documentação foi organizada segundo um esquema lógico: os estudos foram agrupados, os resultados sintetizados e o material selecionado analisado criticamente por comparação, identificando aspetos comuns e discrepâncias.

A informação foi estruturada descritivamente, considerando: (i) aplicações por área de atuação (industrial, clínica, hospitalar, comunitária, educativa); (ii) desafios e barreiras da IA em Farmácia, por tipologia (técnicos, jurídicos, éticos, económicos e culturais); e (iii) impacto e possíveis soluções propostas na literatura, igualmente por tipologia (técnicos, educativos, económicos e culturais).

Este trabalho respeita os princípios éticos aplicáveis à utilização rigorosa da informação científica.

RESULTADOS

De seguida, são descritos os resultados extraídos dos documentos selecionados sobre as utilizações das aplicações por área de atuação, desafios e barreiras da IA em Farmácia segundo tipologia.

A Tabela 1 apresenta as aplicações encontradas para IA em Farmácia organizadas por área de atuação^{2,3,16,20}.

Tabela 1. Aplicações da IA em Farmácia, por área de atuação

Área de atuação	Aplicações da IA em Farmácia
Área Industrial	Automatização, otimização e personalização de vários aspetos da indústria farmacêutica²⁰ Melhoria dos processos de fabrico¹² Design de formas farmacêuticas⁶ Formulação farmacêutica moderna e desenvolvimento farmacêutico^{12,19} Identificação automática de estruturas moleculares, interpretação de mapas de ação de mecanismos e geração de conteúdos orientados para a saúde¹⁵ Aplicações na previsão de propriedades ou atividades, propriedades físico-químicas e sistema LADME (libertação, adsorção, distribuição, metabolismo, eliminação), relações quantitativas estrutura-propriedade ou estrutura-atividade^{13,20,21} Descoberta de fármacos, identificação de alvos terapêuticos, triagem de compostos^{5,12,22,23,24} Desenvolvimento de produtos para o fabrico de nanomedicamentos e nanorrobôs²⁵ Previsão precoce da atividade biológica e toxicidade¹² Desenvolvimento de produtos, análise de dados e modelação preditiva⁴ Desenho de pequenas moléculas, previsão da atividade proteica e estrutura tri-dimensional^{7,12} Previsão da afinidade de ligação de moléculas a alvos específicos²¹ Disponibilização de tecnologias de Farmácia 4.0: sistemas de fabrico inteligente²⁶ Digitalização, gémeos digitais, fabrico contínuo, análise de processos e qualidade por desenho (QbD)²⁶ Reestruturação e aumento da eficiência¹² Análise do big data: crescimento do volume de dados, aumento da velocidade de criação de dados e expansão da variedade de tipos de dados disponíveis^{8,27} Recurso a técnicas avançadas de aprendizagem profunda para agrupamento, classificação e análise de padrões em dados farmacêuticos de larga escala¹⁵
Área Clínica	Análise de dados ensaios pré-clínicos (animais) e clínicos (humanos)¹¹ Simulação de ensaio clínico²⁸ Redução das taxas de falha em ensaios clínicos¹² Otimização de candidatos e desenho de ensaios clínicos^{5,22,23,24} Antecipação de potenciais candidatos e modelar interações com sistemas biológicos²⁹ Identificação e reposicionamento de medicamentos eficazes^{12,30} Aplicações em recrutamento para ensaios clínicos na área da oncologia³¹ Reforço dos modelos para melhorar a eficácia terapêutica e a sustentabilidade³² Monitorização dos níveis de glicose no sangue dos doentes integrando-os em dispositivos <i>wearable</i> e lembrando-os de tomar insulina ou outros medicamentos^{20,33} Ajustes de dose de medicamentos com base em dados reais do doente³⁴ Deteção de efeitos adversos em tempo real e ajuste da dose em ensaios clínicos^{12,19}

Tabela 1. Aplicações da IA em Farmácia, por área de atuação (cont.)

Área Hospitalar	Gestão personalizada da medicação de acordo com as necessidades específicas¹² Interseção entre farmacologia, imagiologia e genética³⁵ Controlo de qualidade melhorado: a monitorização em tempo real e os controlos de qualidade automatizados podem garantir uma qualidade consistente do produto²⁶ Gestão da cadeia de abastecimento²⁶ Otimização da a seleção de medicamentos, melhoria da gestão de <i>stocks</i> e automatização da verificação de prescrições^{1,12,17,36} Monitorização os sinais vitais e outros dados de saúde²⁰ Serviços de atendimento de receitas <i>online</i>² Revisão de prescrições médicas³⁷ Revisão de possíveis interações medicamentosas^{20,33,38} Identificação de sinais de segurança através de processos automatizados²⁸ Identificação de potenciais interações entre medicamentos e doenças²⁰ Monitorização de reações adversas através da deteção de sintomas^{20,29,33} Reforço da confiança clínica pela integração da incerteza preditiva em classificadores de diagnóstico²⁸ Integração de registos eletrónicos em vários sistemas e fluxos de trabalho²⁰ Gestão personalizada e atendimento 24 horas por dia, 7 dias por semana²⁰ Gestão da terapêutica medicamentosa² Os sistemas robóticos de dispensa, gestão de <i>stocks</i> otimizam as cadeias de abastecimento farmacêutico, minimizam o desperdício e melhoram a precisão da dispensa de medicamentos³⁹ Aplicações de IA utilizadas pelos técnicos de Farmácia²
Área Comunitária	Serviços como consultoria geridos por tecnologias como as aplicações móveis² Lembretes para o uso de medicamentos² Identificação de reações adversas²⁸ Identificação de populações com elevado risco de toxicidade medicamentosa²⁸ Orientação para o atendimento personalizado²⁸ Previsão de efeitos secundários²⁸ Gestão de doenças crónicas² Gestão de prescrição² Rastreio de doentes que requerem ações individuais específicas² Rastreio de doentes para alocação de recursos com base nas necessidades² Conciliação de medicamentos e terapêuticas em uso² Monitorização da adesão à medicação⁴⁰ Robôs que executam ações automatizadas e tarefas sofisticadas^{2,41,42}
Área Educacional	Desenvolver ferramentas de medição, questionários, inquéritos ou formulários de recolha de dados²⁰ A pílula digital, melhora a resposta do doente, aumenta a adesão ao tratamento e a perda de resposta a medicamentos crónicos⁴³ Fornecer informação e recursos de apoio para decisões informadas^{20,33} Os <i>chatbots</i> e os assistentes virtuais respondem perguntas^{21,33} Formação e educação para farmacêuticos com doentes virtuais, simulações, estudos de caso interativos, orientação em tempo real, assistência diagnóstica e módulos de aprendizagem^{12,44}

Em todas as áreas de atuação foram encontradas aplicações que utilizam IA, seja em pesquisa ou desenvolvimento; o maior número de aplicações encontra-se nas áreas industrial e hospitalar, enquanto o menor

número se situa no setor educacional. A Tabela 2 mostra os resultados dos desafios e barreiras de acordo com a tipologia (técnicos, jurídicos, éticos, jurídico-económicos e culturais).

Tabela 2. Desafios e Barreiras à utilização de aplicações de IA, segundo tipologia

Tipologia	Desafios e barreiras à utilização de aplicações da IA
Técnicos	Falta de sensibilização e conhecimento ¹⁶ Falta de orientações práticas de IA ¹⁶ Disponibilidade limitada de <i>expertise</i> e recursos em IA ¹⁶ Necessidade de algoritmos robustos de processamento de linguagem natural ²¹ Viés algorítmico ⁴² Dificuldades de integração da IA nos fluxos de trabalho ⁴⁵ Diversos problemas técnicos ¹⁶ Falhas no sistema ¹⁶ Ligação limitada entre ferramentas de IA e sistemas de informação farmacêutica ¹⁶ Dificuldade em gerir tarefas complexas relacionadas com medicamentos ¹⁶ Sugestões limitadas para melhorar a técnica e a máquina ¹⁶ Desafios na qualidade do <i>big data</i> ¹⁶ Ameaças à cibersegurança ⁴⁶
Jurídico	Restrições regulatórias ¹⁶ Estruturas regulatórias para a tomada de decisões ⁴⁶ Exigências de conformidade regulamentar ⁴²
Éticos	Diversas considerações éticas ^{7,15,20,31,47} Transparência na tomada de decisões ^{12,16,20} Preocupações com a privacidade e a segurança do doente ^{16,21,42} Desumanização do atendimento ⁴⁸
Económicos	Infraestrutura inadequada ¹⁶ Desafios no lançamento de sistemas de IA ¹⁶ Acesso limitado a modelos e escassez de investigação baseada em IA nas farmácias ¹⁶ Escassez de mão-de-obra ou de profissionais qualificados ³⁰ Custos operacionais elevados ^{1,46}
Culturais	Medo de despedimento ¹⁶ Falta de cultura ¹⁶ Falta de colaboração com outros profissionais de saúde em relação às operações ¹⁶ Falta de partilha de conhecimento entre os profissionais farmacêuticos ¹⁶ Resistência à mudança por receio de substituição de emprego ⁴⁸ Medo da perda de autonomia (profissional) ⁴⁵ Resistência à adoção de tecnologia ⁴⁶

A Tabela 3 mostra os resultados quanto ao impacto e possíveis soluções sugeridas

na literatura segundo tipologia (técnicos, educacional, económicos e culturais).

Tabela 3. Impacto e possíveis soluções sugeridas na literatura, segundo tipologia

Tipologia	Impacto e possíveis soluções
Técnicos	Integração no ritmo de trabalho ^{12,16} Explicabilidade e validação ^{12,16} Normalização e qualidade dos dados ³⁰ Orientações e considerações regulamentares ^{7,31} Protocolos normalizados de troca de dados ⁴⁶ Interoperabilidade ⁴⁶ Definições de normas ^{7,20}
Educacional	Participação em seminários, conferências e programas de formação ^{12,16} Formação para o compreender completamente e poder aplicá-lo com sucesso ⁴⁸
Económicos	Apoio financeiro para custos de implementação (<i>software e hardware</i>) ^{12,16}
Culturais	Envolvimento das partes interessadas ^{12,16} Gerir as diferenças culturais na comunicação intercultural ^{15,49}

Os desafios e barreiras identificados distribuem-se por vários fatores, muitos deles interligados, e exigem estudos orientados para se encontrarem soluções adequadas. A literatura apresenta medidas para mitigar estas limitações; tal como sucedeu com outras tecnologias, a IA veio para ficar, pelo que importa ajustar práticas, enquadramentos e competências. Torna-se necessário coordenar esforços de profissionais, instituições e decisores para superar os desafios, remover barreiras e assegurar uma utilização adequada que maximize os benefícios.

DISCUSSÃO

A IA está a transformar o setor farmacêutico e o setor da saúde, permitindo a automatização de tarefas de rotina, o apoio a planos de tratamento personalizados e redução dos custos²⁰. Esta perspetiva é consistente com a literatura que descreve a reconfiguração da distribuição

de recursos, a manutenção preditiva de equipamentos e abordagens clínicas individualizadas com recurso a IA⁵⁰.

Todas as aplicações devem observar princípios éticos e ser implementadas de forma responsável, dado o impacto potencial no trabalho e nas pessoas. Importa, por isso, clarificar objetivos e benefícios esperados dos investimentos em IA, de modo a maximizar o retorno e a transparência para as partes interessadas²⁰. Este entendimento converge com outros autores que sublinham que uma IA ética implica a integração de princípios morais como justiça, responsabilidade e respeito pela dignidade humana, a par de regulamentação e supervisão humanas efetivas⁵¹.

Vários autores sustentam que o setor farmacêutico poderá estar a atravessar uma nova revolução industrial. À luz dos precedentes históricos, a indústria conseguiu converter as tecnologias de uso geral em vantagens competitivas⁸. A

conjuntura atual constitui uma oportunidade que deve ser gerida com critério: é necessário atualizar formas de pensar e modelos de atuação para que a transição se traduza em benefício, e não em ameaça⁸. Neste enquadramento, são essenciais investigação e desenvolvimento eficientes e inovadores, marketing ágil, cadeias de fornecimento sustentáveis e renovação de equipas, com foco no impacto real na vida dos doentes⁵². Também é urgente o recurso a metodologias com potencial transformador, através de uma gestão adequada dos desafios associados, uma vez que a IA está a alterar o paradigma nas diferentes etapas do ciclo do medicamento^{5,25}. De facto, o setor farmacêutico já utiliza abordagens baseadas em IA para a descoberta de fármacos e para o tratamento de doenças como Parkinson, diabetes, Alzheimer e perturbação obsessivo-compulsiva^{5,25}. Esta tendência é consistente com revisões que mapeiam inúmeras áreas de aplicação e projetam ganhos substanciais em custos e prazos⁵³. Os algoritmos identificam padrões e sustentam a tomada de decisão informada, algo particularmente relevante em contextos hospitalares, onde se analisam grandes volumes de dados de doentes^{9,54}.

O setor enfrenta, assim, o desafio de adotar ações concretas e de compreender como trabalhar, de forma integrada, com IA, robótica, Internet das Coisas, veículos autónomos, impressão 3D, nanotecnologia, biotecnologia, ciência dos materiais, armazenamento de energia e computação quântica⁸. Encarar a mudança ajudará a preservar a liderança; ignorá-la pode abrir espaço para a prática farmacêutica ser substituída por outras formas emer-

gentes de satisfazer as necessidades das populações⁸.

Historicamente, os farmacêuticos tiraram partido de tecnologias de uso geral para criar novos processos de fabrico, aperfeiçoar técnicas de produção, desenvolver novas terapêuticas, implementar dispensação robotizada com código de barras e incorporar sensores em formas farmacêuticas e dispositivos de adesão⁸. Em linha com esta tradição, grandes empresas farmacêuticas já colaboram ou adquiriram soluções de IA para acelerar o desenvolvimento de imunoterapias⁷; outras estabeleceram parcerias para transformar o desenho e o fabrico de medicamentos⁶.

A descoberta de fármacos é, por natureza, interdisciplinar, integrando ciências físicas, biológicas e farmacologia, hoje ampliadas por abordagens computacionais⁵⁵. Para aproveitar todo o potencial da IA, importa definir que dados gerar e que resultados modelar, de modo a melhorar a tomada de decisão⁵⁵. A IA tem funcionado como catalisador, ao potenciar a aprendizagem automática para analisar grandes volumes de dados, identificar candidatos promissores e acelerar o rastreio virtual, encurtando etapas na descoberta de fármacos⁴⁷. Paralelamente, contribui para recomendar regimes personalizados com base na genética e no historial clínico, estratificar subpopulações, detetar precocemente problemas de segurança, aprofundar a compreensão de vias biológicas e prever efeitos a longo prazo⁴⁷. Não obstante, alguns autores argumentam que metodologias tradicionais baseadas em bases de dados de medicamentos continuam a fornecer respostas mais precisas, completas, seguras e úteis do que, por exem-

plo, *chatbots*⁵⁶. Por fim, assinala-se que alguns autores sugerem que os robôs podem imitar aspetos do pensamento humano e substituir determinadas tarefas, embora careçam de emoção. Podem apresentar elevada precisão sem juízo clínico, não tomar decisões nem elaborar relatórios sem supervisão humana, não se aperfeiçoarem autonomamente com a experiência e revelarem falta de sensibilidade e inteligência emocional¹. Sugere-se assim que estes sejam integrados progressivamente nos fluxos de trabalho clínicos, como complemento aos farmacêuticos, oferecendo respostas rápidas e consistentes a questões sobre o uso de medicamentos⁵³. Paralelamente, é crucial reforçar o papel da farmácia comunitária, prestar serviços que evidenciem a sua relevância social, medir resultados e gerir a saúde da população⁵⁷.

CONCLUSÕES

O setor farmacêutico atravessa uma transformação profunda com a implementação da inteligência artificial em múltiplas áreas. Algumas aplicações encontram-se em fase de investigação; outras já estão em implementação. Para garantir resultados adequados, são necessários ajustamentos éticos, legais, culturais, técnicos, económicos e administrativos.

Persistem divergências quanto ao uso da IA. Num contexto dinâmico, exigem-se esforços coordenados para que o setor saiba aproveitar as oportunidades e melhorar os resultados para todas as partes envolvidas.

Recomenda-se ainda planeamento prospetivo, com visão de longo prazo, para conceber intervenções sustentáveis e inclusivas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.Das S, Dey R, Nayak A. Artificial intelligence in pharmacy. *Indian J Pharm Educ Res.* 2021; 55(2): 304-318.
- 2.Khatal P, Goukonde R, Sanap G. Artificial intelligence in pharmacy enhancing efficient data procesing and healthcare solutions. 2024; 14 (1): 1486-1509.
- 3.Pravalika T, Sandeep K. (2023). Artificial intelligence in pharmaceutical technology and drug delivery design. 2023; 12(18): 391-418.
- 4.Gangwal A, Lavecchia A. (2025). Artificial Intelligence in Natural Product Drug Discovery: Current Applications and Future Perspectives. *J. Med. Chem.* 2025; 68: 3948–3969.
- 5.Mendhi S, Sawarkar K, Shete A, Vinchurkar K, Mali S, Singh S, et al. Smart healthcare: Artificial intelligences impact on drug development and patient care. *Intelligent Pharmacy.* 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ipha.2025.01.003>
- 6.Raza M, Aziz S, Noreen M, Saeed A, Anjum I, Ahmed M, Raza S. Artificial intelligence (AI) in pharmacy: an overview of innovations. *Innovations in pharmacy.* 2022; 13(2): 10-24926.
7. Aritra S, Indu S. Harnessing the Power of Artificial Intelligence in Pharmaceuticals: Current Trends and Future Prospects. *Intelligent Pharmacy.* 2025.
- 8.Baines D, Nørgaard L, Rossing C. The Fourth Industrial Revolution: will it change pharmacy practice?. *RSAP.* 2020;16(9):1279-1281.
- 9.González Y, Delgado A, Sesmero J. Acercando la inteligencia artificial a los servicios de farmacia hospitalaria. *Farmacia Hospitalaria.* 2024; 48: S35-S44.
- 10.Kavya B, Ramesh Y, Chandra Y, Penabaka V. Review On Pharmacy Infor-

matics, Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development. 2025; 13(1):104-109.

11.Kumar M, Nguyen T, Kaur J, Singh T, Soni D, Singh R, Kumar P. Opportunities and challenges in application of artificial intelligence in pharmacology. Pharmacological Reports. 2023;75(1): 3-18.

12.Allam H. Prescribing the Future: The Role of Artificial Intelligence in Pharmacy. Information. 2025;16(2): 131.

13.Hessler G, Baringhaus K. Artificial intelligence in drug design. Molecules. 2018; 23(10): 2520.

14.Koteluk O, Wartecki A, Mazurek S, Kołodziejczak I, Mackiewicz A. How do machines learn? artificial intelligence as a new era in medicine. J. Pers. Med. 2021;11(1): 32.

15.Jin L. Research on Optimization Strategies of Artificial Intelligence Algorithms for the Integration and Dissemination of Pharmaceutical Science Popularization Knowledge. Scientific Journal of Technology. 2025; 7(1): 45-55.

16.Alajlan S, Lytras M. How artificial intelligence affects the future of pharmacy practice?. In Next Generation eHealth. 2025: 251-260.

17.Alowais S, Alghamdi S, Alsuhebany N, Alqahtani T, Alshaya A, Almohareb S, et al. Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice. BMC Med Educ. 2023; 23 (689): 1-15.

18.García R. Applications of artificial intelligence in hospital quality management: a review of digital strategies in healthcare settings. RCSI. 2025; 5(2): e928-e928.

19.Ali K, Mohin S, Mondal P, Goswami

S, Ghosh S, Choudhuri S. Influence of artificial intelligence in modern pharmaceutical formulation and drug development. Future Journal of Pharmaceutical Sciences. 2024; 10(1), 53.

20.Khan O, Parvez M, Kumari P, Parvez S, Ahmad S. The future of pharmacy: how AI is revolutionizing the industry. Intelligent Pharmacy. 2023; 1(1): 32-40.

21.Prusty A, Panda S. The revolutionary role of artificial intelligence (AI) in pharmaceutical sciences. Indian J Pharm Educ Res. 2024; 58(3s): s768-s776.

22.Gandhi S, Avhad V, Raut K, Javane N, Shah M, Katkhade S. Artificial Intelligence in Pharmacy: A Boon for Drug Delivery & Drug Discovery. Int. J. Sci. R. Tech. 2024; 1(12).

23.Srivastava N, Verma S, Singh A, Shukla P, Singh Y, Oza A, Yadav A. Advances in artificial intelligence-based technologies for increasing the quality of medical products. DARU J. Pharm. Sci. 2024; 33(1), 1-21.

24.Zhavoronkov A, Vanhaelen Q, Oprea T. Will artificial intelligence for drug discovery impact clinical pharmacology?. Clinical Pharmacology & Therapeutics. 2020; 107(4): 780-785.

25.Narayanan R, Durga N, Nagalakshmi S. Impact of artificial intelligence (AI) on drug discovery and product development. Indian J. Pharm. Educ. Res. 2022; 56, S387-S397.

26.Gong S, Kim H, Park Y, Kim J. Recent trends in continuous manufacturing and digitalization in pharmaceutical process development and manufacturing. J. Pharm. Investig. 2025; 1-18

27.Basile A, Yahia A, Tatonetti N. Artificial intelligence for drug toxicity and

safety. *Trends in pharmacological sciences*. 2019; 40(9), 624-635.

28.Salas M, Petracek J, Yalamanchili P, Aimer O, Kasthuril D, Dhingra S, Bostic T. The use of artificial intelligence in pharmacovigilance: a systematic review of the literature. *Pharmaceutical medicine*. 2022; 36(5): 295-306.

29.Goswami S, Singh M. Artificial Intelligence used in Pharmaceutical and Healthcare Industry: A Review. *Artificial Intelligence*. 2023; 3(1).

30.Sampene A, Nyirenda F. Evaluating the effect of artificial intelligence on pharmaceutical product and drug discovery in China. *FJPS*. 2024; 10(1): 58.

31.Askin S, Burkhalter D, Calado G, El Dakrouni S. Artificial intelligence applied to clinical trials: opportunities and challenges. *Health and technology*. 2023;13(2), 203-213.

32.Roy A, Chandra J. Medicinal Chemistry's Latest Developments: A Thorough Review. *IJPCAT*. 2025; 1(1): 28-36.

33.Nguyen G, Sartschev E, Reyes J, Honigford A, Petrunch M, Devoll K, Jewell T. Artificial Intelligence (AI) in Pharmacy. *Pharmacy and Wellness Review*. 2025; 15(1): 5.

34.Poveda J, Beltrán I, Poveda P. Inteligencia artificial y farmacia hospitalaria: El futuro ya está aquí. *Revista de la OFIL*. 2023; 33(2), 113-114.

35.Gerretsen P, Müller D, Tiwari A, Mamo D, Pollock B. The intersection of pharmacology, imaging, and genetics in the development of personalized medicine. *Dialogues in clinical neuroscience*. 2009; 11(4), 363-376.

36.Trenfield S, Awad A, McCoubrey L, Elbadawi M, Goyanes A, Gaisford S, Ba-

sit A. Advancing pharmacy and healthcare with virtual digital technologies. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2022; 182, 114098.

37.Lopes M, Gonzatti J, Rocha B, Martinbiancho J, Mocelin C, Diemen T, et al. Uso de ferramenta de inteligência artificial para avaliação de prescrições e seu impacto em intervenções farmacêuticas. *Braz. J. Hea. Rev*. 2025;8(1):e77070.

38.Xiao J, Li M, Cai R, Huang H, Yu H, Huang L, Cheng S. Smart Pharmaceutical Monitoring System With Personalized Medication Schedules and Self-Management Programs for Patients With Diabetes: Development and Evaluation Study. *J Med Internet Res*. 2025; 27: e56737.

39.Al-Hourani S, Weraikat D. A Systematic Review of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) in Pharmaceutical Supply Chain (PSC) Resilience: Current Trends and Future Directions. *Sustainability*. 2025; 17(14), 6591.

40.Worrall C, Shirley D, Bullard J, Dao A, Morrisette T. Impact of a clinical pharmacist-led, artificial intelligence-supported medication adherence program on medication adherence performance, chronic disease control measures, and cost savings. *J Am Pharm Assoc*. 2025; 65(1), 102271.

41.Bikash J, Rao K, Kothakota N, Budha R, Srinivas L, Rajkumar J, Kovvasu S. Autonomous Robots: A Disruptive Technology in the Health Sector. Creating Smart Healthcare with Blockchain and Advanced Digital Technology. *AAP*. 2025; 365-398.

42.Stasevych M, Zvarych V. Innovative Robotic Technologies and Artificial Intelligence in Pharmacy and Medicine:

Paving the Way for the Future of Health Care—A Review. *Big Data Cogn. Comput.* 2023, 7, 147.

43.Ilan Y. Improving global healthcare and reducing costs using second-generation artificial intelligence-based digital pills: A market disruptor. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021; 18(2). 811

44.Knobloch J, Cozart K, Halford Z, Hilaire M, Richter L, Arnoldi J. Students' perception of the use of artificial intelligence (AI) in pharmacy school. *Curr. Pharm. Teach. Learn.* 2024; 16(12), 102181.

45.Lambert S, Madi M, Sopka S, Lenes A, Stange H, Buszello C, et al. An integrative review on the acceptance of artificial intelligence among healthcare professionals in hospitals. *NPJ Digital Medicine.* 2023, 6(1), 111.

46.Mandal S, Kumar M, Bhumika K, Ali S, Jahan I, Mandal S. Impact of Electronic Health Records and Automation on Pharmaceutical Management Efficiency: A Narrative Review. *IJHSE.* 2025; 21-36.

47.Bhatia N, Khan M, Arora S. The Role of Artificial Intelligence in Revolutionizing Pharmacological Research. *Curr. Pharmacol. Rep.* 2024; 10(6). 323-329.

48.Jerez O, Kim J, Bonilla J, Montalvo F, Veas M. Perspectivas Estudiantiles y Docentes sobre la IA en la Educación Sanitaria: Scoping Review. *Rev Esp Edu Med.* 2025;6(2).

49.Wachter R, Brynjolfsson E. Will generative artificial intelligence deliver on its promise in health care? *JAMA.* 2024; 331(1): 65-69.

50.Mehedy M, Jalil M, Saeed M, Abdullah A, Esrat S, Nadil K, Mohaiminul H. Big Data and Machine Learning in Healthcare: A Business Intelligence Approach for Cost Optimization and Service Im-

provement. *The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research.* 2025; 7, 115-135.

51.Kesumawati K, Lombok J, Harefa O. Moral Responsibility in the Development of Artificial Intelligence according to Ethical Theology. *Journal of the American Institute.* 2025; 2(2), 199-209.

52.Nguyen T, Nguyen T. Challenges in Sustainable Pharmaceutical Development. In *Sustainable Pharmaceutical Product Development and Optimization Processes: From Eco-Design to Supply Chain Integrity.* Singapore: Springer Nature Singapore.2025; 393-419.

53.Singh S, Kumar S, Quadir S, Bhandari S, Baniya B, Joshi G, Choudhary D. Artificial Intelligence: Preface, Applications and Future Perspective in Relation to Pharmaceutical Sector. *Journal of Pharmaceutical Innovation.* 2025; 20(2), 39.

54.Ribeiro R, Gomes V, Gomes D, Gomes G, de Souza E, Gomes A, Gomes L. Impacto da inteligência artificial na medicina: Revisão bibliográfica sobre diagnóstico, tratamento e sistemas de apoio à decisão. *Lumen et Virtus.* 2025; 16(44): 217-233.

55.Bender A, Cortés I. Artificial intelligence in drug discovery: what is realistic, what are illusions? Part 1: Ways to make an impact, and why we are not there yet. *Drug discovery today.* 2021; 26(2): 511-524.

56.Beavers J, Schell RF, VanCleave H, Dillon RC, Simmons A, Chen H, et al. Evaluation of inpatient medication guidance from an artificial intelligence chatbot. *Am J Health Syst Pharm.* 2023;80(24):1822-1829.

57.Gregório J, Cavaco A. The pharmacist's guide to the future: ¿Are we there yet? *RSAP.* 2021;17(4): 795-798.