

Revisión crítica y perspectivas de la investigación sobre la transformación del espacio industrial bajo la tendencia de sustitución de los humanos por las máquinas

XU Wenbo, SUN Keyi, WANG Xingping

Resumen: Con la llegada de la era del digital inteligente, la relación entre el ser humano y la máquina experimenta un reajuste estructural, dando lugar a nuevas relaciones humano-espaciales que conforman tanto los espacios técnicos como los sociales. Esta tendencia se manifiesta con especial relevancia en el desarrollo y la evolución de los espacios industriales. Desde una perspectiva tecno-industrial, este estudio revisa la trayectoria evolutiva de la relación humano-máquina y sostiene que, cuando la máquina adquiere cierta subjetividad espacial, las distribuciones geográficas del hombre y la máquina se diferencian según diversos escenarios, provocando un reajuste del orden espacial industrial urbano. Un recorrido por las investigaciones de vanguardia muestra que las reflexiones suscitadas por la sustitución de los humanos por las máquinas se concentran principalmente en la sustitución del empleo y la evolución de las configuraciones regionales, la mutación de las relaciones industria-ciudad y la inteligentización de los espacios industriales, pero carece de una reflexión sistemática sobre los nuevos paradigmas espaciales. A la luz de las tendencias tecnológicas y las necesidades prácticas actuales, este estudio propone la construcción de un marco de análisis espacial basado en la sinergia «humano — máquina — territorio — industria» e identifica tres ejes de investigación prioritarios: la redistribución espacial humano-máquina bajo la reconstrucción de la subjetividad maquina; el reequilibrio industria-ciudad ante la tendencia a la desantropización de los espacios manufactureros; y la correlación sinérgica entre los espacios de producción físicos y virtuales.

Palabras clave: relación humano-máquina; sustitución de los humanos por las máquinas; transformación del espacio industrial; paradigma espacial

El progreso tecnológico ejerce una influencia profunda y compleja sobre el espacio urbano. Cada vez que emerge una nueva tecnología y encuentra aplicaciones industriales a gran escala, la relación entre el hombre y la máquina se reajusta bajo la acción conjunta del sistema técnico y el sistema social, proyectándose en la organización interna y la morfología exterior de la ciudad. Teóricos urbanos como Mumford asociaron tempranamente el estudio del progreso tecnológico al desarrollo urbano, afirmando que «la verdadera revolución técnica no reside en la innovación mecánica, sino en la reconstrucción de un vínculo orgánico entre la técnica y la humanidad», abriendo así una perspectiva esencial de «visión tecnohistórica» para la historia del desarrollo urbano. Hoy, las nuevas tecnologías de la información y la inteligencia artificial empujan nuevamente a la sociedad humana al umbral de una transformación de los sistemas de producción; la relación humano-máquina se encuentra una vez más ante un reajuste de gran magnitud. Al tiempo que elevan considerablemente la productividad, las nuevas tecnologías generan espacios de producción inteligentes y suscitan en la sociedad una honda inquietud ante la «sustitución de los humanos por las máquinas» —es decir, el reemplazo de los puestos de trabajo humanos por máquinas—. Ante los nuevos modos de producción, las tendencias de flujo de mano de obra y las características espaciales de las cadenas industriales, se imponen nuevas ofertas

espaciales y estrategias de adaptación. En este contexto, examinar las investigaciones sobre la evolución de los espacios industriales desde la perspectiva de la sustitución humano-máquina constituye un ángulo esencial para explorar las leyes de organización espacial y los mecanismos de la ciudad futura bajo el impulso de las nuevas tecnologías.

1 Contexto: tendencia tecnológica de la sustitución humano-máquina y desafíos espaciales

1.1 Genealogía tecnológica y características por etapas de la sustitución humano-máquina

La revolución industrial marca el punto de partida de la edificación de la estructura económica y social moderna, y abre también el capítulo de la sustitución sistemática y a gran escala del trabajo humano por las máquinas. Desde una perspectiva histórica, la sustitución del hombre por la máquina puede dividirse globalmente en cuatro fases.

(1) Fase de mejora instrumental (antes de la revolución industrial): en la sociedad agraria, las máquinas existían como prolongaciones físicas de los órganos humanos —el ser humano diseñaba y manipulaba dispositivos mecánicos o aprovechaba fuerzas naturales como el viento o el agua para amplificar determinadas capacidades fisiológicas, como la fuerza o la resistencia—. Cualquiera que fuera la complejidad de los distintos ingenios, su naturaleza no difería fundamentalmente de la palanca inventada y utilizada por Arquímedes.

(2) Fase de sustitución energética (primera y segunda revoluciones industriales): la invención de la máquina de vapor y los sistemas eléctricos permitió a la producción humana trascender los techos de la fuerza humana, animal y de la energía natural. Se colmaron las insuficiencias de la fuerza humana y animal, y se superaron las deficiencias de inestabilidad de las energías naturales. Sobre esta base, los sistemas mecánicos adquirieron una fuente de energía independiente, y el valor energético del trabajo humano fue prácticamente sustituido por completo por las máquinas. El valor del hombre se desplazó hacia los ámbitos técnicos —es la primera vez que se establece una división relativamente nítida del trabajo entre el hombre y la máquina—.

(3) Fase de sustitución del control informacional (tercera revolución industrial): la invención de los tubos de vacío y los transistores hizo posible el «control de una corriente elevada mediante un voltaje bajo»; sustentada en la arquitectura de von Neumann, la máquina pudo no solo ejecutar procesos de producción estandarizados conforme a instrucciones predefinidas, sino también realizar intercambios de información directos entre máquinas. En la mano de obra humana, la demanda de trabajadores manuales disminuyó, y su rol evolucionó de operadores a supervisores.

(4) Fase de sustitución de la capacidad de reflexión y decisión (era de la inteligencia artificial): bajo el impulso del análisis de grandes datos y el aprendizaje profundo, las máquinas superaron las limitaciones de la ejecución según programas predefinidos por el ser humano, iniciando un procesamiento informacional de nivel cognitivo y adquiriendo la capacidad de interacción en tiempo real con los humanos y de toma de decisiones colaborativa humano-máquina. La distribución del trabajo entre el hombre y la máquina se inclina aún más a favor de las máquinas. Con el desarrollo de las interfaces neuronales y otras tecnologías, no cabe descartar que en el futuro emerja un estado de fusión profunda entre la inteligencia biológica y la inteligencia artificial.

En conjunto, la lógica tecnológica de la sustitución humano-máquina puede desglosarse en dos dimensiones: por un lado, la sustitución por las máquinas evoluciona progresivamente del reemplazo de la fuerza muscular al de la fuerza cognitiva —algunos investigadores distinguen así la «primera revolución mecánica» y la «segunda revolución mecánica»—; por

otro lado, el modo de control humano sobre las máquinas evoluciona del pilotaje manual al control por programas informáticos, y progresivamente al control por la palabra y la conciencia —investigadores han propuesto, desde el ángulo de la cognición humana, las nociones de «tercera revolución cognitiva» y «revolución de Turing»—. Véase la figura 1.

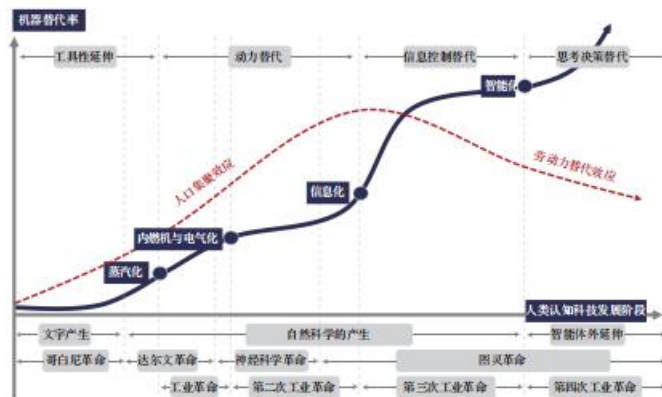


Fig.1 El proceso histórico general de sustitución de la máquina

1.2 Tendencias evolutivas de la división del trabajo humano-máquina desde la perspectiva de la filosofía de la técnica

La relación humano-máquina ha atravesado globalmente varias fases de desarrollo: instrumentalismo, compañerismo, simbiosis. En la fase de instrumentalismo, la máquina era considerada una prolongación de la herramienta humana. En la fase de compañerismo, la máquina dejó de ser percibida exclusivamente como una herramienta completamente pasiva, para ser vista como capaz de superar al ser humano en ciertos ámbitos y formar con él una división del trabajo —así se propusieron nociones como el «cálculo coasistido humano-máquina»—. Hoy, la inteligencia artificial ha franqueado el umbral tecnológico de lo «inutilizable → poco utilizable → utilizable» para entrar en la forma tecnológica de la máquina inteligente. La máquina inteligente no se limita a imitar los comportamientos humanos, sino que puede simular el pensamiento y la conciencia humanos, haciendo que la frontera entre el «humano» y el «cuasi-humano» sea cada vez más difusa. Norbert Wiener, fundador de la cibernética, sostenía que la relación entre el hombre y la máquina no debería limitarse al control unilateral de la máquina por el hombre, sino ser una relación de colaboración y simbiosis mutuas, subrayando que las relaciones más importantes de la sociedad humana serán las que se establezcan entre el hombre y la máquina, entre las máquinas entre sí, y entre los hombres.

Pero tanto si se adopta una actitud optimista como pesimista ante el desarrollo de la inteligencia artificial, la sustitución de los humanos por las máquinas constituye una tendencia prácticamente irreversible. Con la extensión del sujeto de la división del trabajo —de la división del trabajo exclusivamente humana hacia una división y colaboración duales hombre-máquina—, esta se ha convertido en una manifestación importante de la cuarta gran división social del trabajo. En este proceso de división humano-máquina, coexisten dos efectos paradójicos: la «sustitución del hombre por la máquina» y el «refuerzo del hombre por la máquina» (o «cooperación humano-máquina»), denominados efectos de «competencia-cooperación simbiótica». En conjunto, comparada con la oposición binaria directa entre el hombre y la máquina propia de la era de la gran industria mecánica, los dispositivos mecánicos inteligentes asumen efectivamente un rol relevante de «liberador»,

liberando al ser humano en cierta medida, pero los trabajadores siguen confrontados al riesgo permanente de ser sustituidos por máquinas inteligentes.

1.3 Necesidad del giro espacial en las investigaciones sobre la sustitución humano-máquina

La gran industria mecánica constituye el fundamento productivo del desarrollo urbano moderno y desempeña un papel determinante en la construcción de las concepciones y modelos de urbanismo y en el modelado de las formas espaciales. En general, las zonas industriales son los espacios que concentran más la sustitución humano-máquina, pero cuando las máquinas no poseen autonomía, la agregación de las máquinas y la de las poblaciones industriales se producen de manera sincrónica. Por consiguiente, durante un largo período, si bien las máquinas han ejercido cierta sustitución del trabajo humano (principalmente la sustitución energética), también han creado más empleos en el proceso de industrialización, y su impacto social ha permanecido relativamente controlable.

Cuando los sistemas de máquinas pudieron intercambiar informaciones de retroalimentación y control mutuos, la mano de obra humana comenzó a abandonar las líneas de producción de primera línea, y el efecto de sustitución humano-máquina empezó a superar el efecto de agregación de las poblaciones industriales generado por la gran industria mecánica. La explosión de las tecnologías de inteligencia artificial ha intensificado aún más esta tendencia: en el ámbito industrial, la mano de obra humana se ha retirado progresivamente de la primera línea de producción, dando lugar a escenarios de fábricas sin operarios, puertos automatizados y minas sin personal; en el sector de servicios, tecnologías como la logística autónoma y la conducción autónoma se encuentran igualmente en un momento crucial de difusión a gran escala. Así, la sustitución humano-máquina podría por primera vez expulsar a la mano de obra humana de los espacios de empleo habituales desde la formación de la civilización industrial, provocando conjuntamente una transformación fundamental de los modelos de organización espacial. Cabe afirmar, por tanto, que la sustitución humano-máquina ya no es una cuestión filosófica, tecnológica o de relaciones sociales latente, sino que se afirma progresivamente como una cuestión espacial explícita.

Investigadores en urbanismo ya han tomado conciencia del impacto espacial potencial del nuevo paradigma tecnoeconómico: las nuevas tecnologías, representadas por las tecnologías de la información, transformarán considerablemente la forma espacial material y el modo de funcionamiento de las ciudades. Sin embargo, los debates se despliegan principalmente a lo largo del eje «tecnología — espacio», abordando las relaciones entre espacios virtuales y reales, la descentralización y el aplanamiento de las redes funcionales urbanas, la mixidad funcional, etc., con una atención relativamente baja hacia el vínculo entre los «humanos» sustituidos por las máquinas y el espacio. YANG Yongchun y cols. sostienen que la irrupción de las nuevas tecnologías hará evolucionar la relación humano-territorio urbana de la cooperación hacia la interacción virtual. XU Wenbo y cols. han propuesto un modelo de distribución humano-máquina en el espacio urbano bajo la condición de una colaboración profunda, pero este modelo carece aún de estudios empíricos concretos. En conjunto, las disciplinas de vocación espacial como la geografía y el urbanismo deben prestar atención a las cuestiones más avanzadas de la sustitución humano-máquina, y cubrir las lagunas de investigación sobre esta cuestión crucial para el desarrollo urbano futuro mediante la práctica espacial, la investigación teórica interdisciplinaria y el empirismo espacial sistemático.

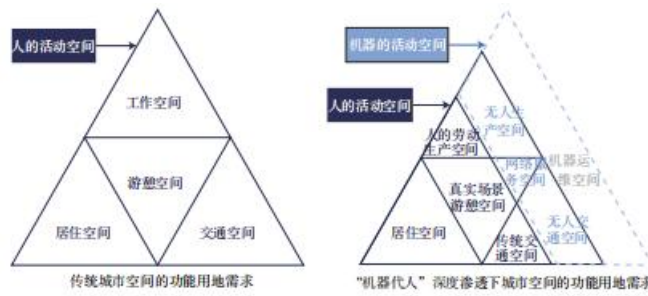


Fig.2 Asunción de la asignación del espacio hombre-máquina y tendencia evolutiva de la composición del suelo urbano

2 Avances de las investigaciones sobre los espacios industriales bajo la tendencia de la sustitución humano-máquina

La industria manufacturera es el sector en el que los robots intervinieron más tempranamente, a la mayor escala y con el impacto más significativo. La transformación de los espacios industriales centrados en las funciones manufactureras constituye, sin duda, el ámbito prioritario de las investigaciones actuales sobre la sustitución humano-máquina. En los últimos años, numerosas regiones han impulsado la construcción de fábricas inteligentes y fábricas totalmente automatizadas (denominadas «fábricas sin luz»), orientando los parques industriales hacia una dirección inteligente y desantropizada, lo cual ha generado efectos espaciales diferenciados a todas las escalas: regional, urbana, de parque y de fábrica. Las investigaciones pueden agruparse globalmente en tres ejes.

2.1 Nivel macro: diferencias sectoriales y regionales del efecto de sustitución del empleo

La sustitución del empleo humano por las máquinas es el factor más determinante en la mutación de las regiones y los espacios urbanos. Históricamente, los temores a que las máquinas reemplacen a los humanos se remontan a Ricardo y John Barton, quienes consideraban que las máquinas desplazan a los trabajadores y generan un excedente de mano de obra. A principios del siglo XIX, el Reino Unido vivió el célebre movimiento ludita, un levantamiento a gran escala de trabajadores que, temiendo ser reemplazados por las máquinas de producción, destruyeron las máquinas para oponerse a la aplicación de las nuevas tecnologías. Generalmente se considera que el impacto del progreso tecnológico sobre el desarrollo industrial y social es globalmente neutro, y que la influencia de las máquinas sobre el empleo combina tanto un «efecto de expulsión» como un «efecto de creación». Daron Acemoglu y cols. sostienen que el aumento de la productividad puede compensar la sustitución del trabajo por las máquinas, creando nuevas tareas adecuadas para la mano de obra humana. Otros puntos de vista sostienen que la automatización favorece el crecimiento pero perjudica la igualdad. En conjunto, el impacto de la inteligencia artificial sobre el empleo es estructural: aumenta de manera significativa la demanda de empleos altamente cualificados y poco cualificados, mientras que la mano de obra medianamente cualificada sufre el mayor grado de sustitución, generando un fenómeno de «polarización» del empleo. Desde la perspectiva de las competencias requeridas por los puestos de trabajo, la sustitución humano-máquina conduce a la coexistencia de tendencias de «actualización tecnológica» y «degradación laboral» en determinados puestos, pero los puestos basados en «saberes tácitos» son los menos susceptibles de ser reproducidos y reemplazados por robots.

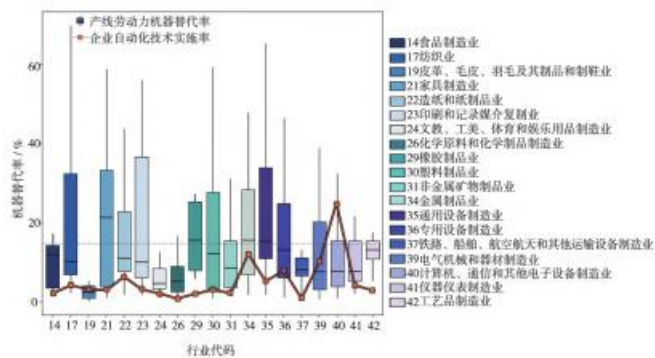
Desde la experiencia internacional, la elevación del nivel de automatización y digitalización

de la producción industrial reemplaza efectivamente a una parte de la mano de obra. En las investigaciones sobre el sector manufacturero estadounidense, si bien la concentración del capital informático mejora considerablemente la productividad laboral, el nivel de empleo desciende aún más rápidamente, lo que puede provocar una caída de los salarios y un excedente de mano de obra. En Japón, aproximadamente el 55% de los puestos de trabajo se consideran relativamente fáciles de reemplazar por ordenadores. Si bien China, como país industrializado tardío respecto a los países occidentales y Japón, goza de una ventaja en costes laborales, ya se han manifestado fenómenos significativos de reemplazo de trabajadores por máquinas en regiones como el delta del Río Perla y el delta del Yangtsé, y las empresas manufactureras presentan una correlación negativa significativa entre el nivel de automatización y la demanda de mano de obra.

En cuanto a las disparidades regionales de la sustitución humano-máquina, en conjunto, la población manufacturera china presenta una tendencia global a la «desantropización», pero desde una perspectiva articulada «industria — población — espacio», China no ha caído en la trampa de la «desindustrialización excesiva»: se encuentra en una desindustrialización virtuosa, impulsada por la tecnología. Debido a la «polarización» del empleo manufacturero, los trabajadores industriales tradicionales experimentan un «desempleo tecnológico», los factores de mano de obra ya no desempeñan un papel determinante en la transferencia industrial regional, y las industrias manufactureras de tecnología media, una vez alcanzada la madurez, ya no priorizan las transferencias hacia las regiones del interior donde los costes laborales son más bajos. China presenta actualmente el fenómeno concomitante del reemplazo de trabajadores por máquinas y la transferencia intersectorial y el reflujo regional de la mano de obra, lo que indica que la estructura binaria entre zonas urbanas y rurales persiste y que el mercado laboral conserva todavía ciertas características territoriales. Algunas investigaciones muestran que la inteligentización industrial tiene un efecto más marcado sobre el incremento de la producción de las empresas en ciudades de mayor nivel. Ciertos estudios realizados desde la perspectiva empresarial confirman estos hallazgos: en un entorno inteligente, la geografía de las empresas está dominada por las grandes empresas, y los umbrales de inversión tecnológica profundizan la brecha —«los fuertes se hacen más fuertes, los débiles más débiles»—; la aplicación de nuevas tecnologías permite a las empresas compensar eficazmente el aumento de los costes laborales y reducir la probabilidad de migración.

La sustitución humano-máquina también presenta diferencias significativas entre los distintos sectores. Según las investigaciones del equipo del profesor LI Xun, la tasa de sustitución de la mano de obra en el delta del Río Perla es de aproximadamente el 10%, y la de la ciudad de Dongguan de aproximadamente el 16%; los sectores más afectados son la fabricación de equipos generales, la fabricación de productos metálicos y la fabricación de productos de caucho (figura 3). En un estudio del distrito de Shunde en Foshan, la tasa de sustitución de las máquinas en empresas representativas como Midea es de aproximadamente el 22%, la tasa de sustitución de la mano de obra por las máquinas en la industria electrodoméstica del distrito de Shunde es de aproximadamente el 11,15%, y la tasa media de sustitución de la mano de obra manufacturera por las máquinas en el conjunto del distrito es de aproximadamente el 7,72%.

Fig.3 Niveles de sustitución de máquinas por sub-sector de fabricación en la ciudad de



Dongguan (2014-2016)

En los últimos años, disciplinas como la economía industrial, la economía del trabajo y los estudios de población, recursos y medio ambiente también han prestado atención al impacto de la inteligentización industrial sobre el empleo manufacturero, midiendo y explicando los efectos sobre el tamaño, la estructura, los flujos, el nivel de ingresos y la estabilidad del empleo. Estas investigaciones miden principalmente el nivel de inteligentización industrial mediante datos indirectos —demográficos, económicos, industriales y de innovación— y validan las correlaciones entre los diversos factores mediante modelos econométricos, explicando sus mecanismos, pero carecen de síntesis y explicación de los fenómenos espaciales.

2.2 Nivel meso: evolución de la localización industrial y reconstrucción de las relaciones industria-ciudad

El approfondissement continu de la sustitución humano-máquina debilita la capacidad explicativa de la teoría tradicional de la localización industrial para dar cuenta de la distribución espacial actual de los espacios industriales. La modernización de los modos de transporte y logística, la desantropización de los espacios industriales y otros factores han modificado profundamente las relaciones espacio industrial — ciudad. El equipo del profesor HUANG Jingsnan sostiene que la distribución de los espacios industriales evoluciona según dos modelos: la orientación transporte y la orientación tecnología. Otras investigaciones, partiendo de las categorías industriales, identifican varios modos: una localización «orientada a servicios» para las industrias ligeras, «orientada al transporte» para las industrias pesadas, y «orientada a la tecnología» para las industrias creativas. En conjunto, el papel de los costes laborales en la elección de la localización industrial se debilita continuamente, mientras que la influencia de los costes de transporte, los costes del suelo, el entorno empresarial y las redes de innovación no cesa de crecer. Las investigaciones realizadas en Shenzhen muestran que las distintas etapas del proceso de producción industrial presentan características de diferenciación espacial: las actividades de producción industrial se distribuyen según un esquema «multipolar y contiguo» en la periferia del centro urbano, mientras que las actividades de I+D industrial se distribuyen según un esquema «monocéntrico y disperso» en el centro urbano.

En cuanto a la evolución de las relaciones espaciales industria-ciudad, la fabricación inteligente presenta tendencias de flexibilidad que impulsan una transformación organizativa en red de la producción, generando espacios compuestos adaptados a las nuevas formas de actividad. El modo de producción posfordista lleva a los espacios manufactureros, a escala macro, de una disposición concentrada hacia una disposición dispersa y periférica. Otros investigadores clasifican los clusters industriales de fabricación inteligente en China en tres

tipos de disposición: parque, ciudad y región. Algunos investigadores han analizado la evolución de los espacios industriales a escala del área metropolitana e identificado características similares: en las afueras de las grandes metrópolis, las poblaciones empleadas tienden globalmente a disminuir, mientras que las poblaciones empleadas de los centros urbanos continúan concentrándose; en particular, los espacios con función manufacturera dominante presentan un desequilibrio entre población y superficie. Otros investigadores, observando los municipios especializados, han constatado que la implementación del «reemplazo de trabajadores por máquinas» puede favorecer la extensión de las cadenas industriales hacia el sector servicios, permitiendo una transformación compuesta del espacio de los municipios.

2.3 Nivel micro: organización espacial pormenorizada de fábricas y parques inteligentes

El progreso técnico afecta directamente a las funciones espaciales y las formas de los edificios y recintos industriales, provocando así cambios en la distribución de los espacios de parques industriales. Desde la publicación del plan «Made in China 2025», las investigaciones sobre fábricas inteligentes se han multiplicado en el ámbito industrial chino, clarificando progresivamente la arquitectura general de la construcción de fábricas inteligentes. Sin embargo, debido a su formación profesional, estas investigaciones se centran principalmente en las tecnologías de producción y los procesos de fabricación, ofreciendo un aporte limitado para la planificación y la construcción de los espacios industriales.

En los ámbitos del urbanismo y la arquitectura, algunos investigadores han prestado atención a la tendencia de evolución de los modos de utilización de los espacios industriales hacia una mayor eficiencia, intensificación y flexibilidad bajo el efecto de las nuevas tecnologías. Consideran que, comparados con los espacios industriales tradicionales, los soportes industriales inteligentes presentan modificaciones en distintos grados en cuanto a forma, superficie ocupada, luz, altura libre y capacidad portante, lo que impone nuevas exigencias sobre las escalas de división y distribución de los terrenos industriales en los parques. Entre estas investigaciones: CHEN Jiaping y cols. analizaron las características sectoriales y las superficies de 46 «fábricas faro» en China, con una superficie media de 1,03 km² y dimensiones generalmente amplias, pero este estudio no realizó una comparación transversal entre las fábricas faro y las fábricas manufactureras tradicionales; ZHU Kai y cols., a través del estudio de las fábricas del futuro en Hangzhou, consideran que a escala microscópica los espacios industriales configurarán un modo comercial intensivo, un modo de investigación-incubación, un modo mallado compuesto y un modo manufacturero tipo fábrica; el equipo del profesor WEI Cheng considera que los nuevos sistemas de producción inteligentes plantean desafíos a los modelos tradicionales de planificación de los espacios industriales, y ejercen una influencia profunda sobre los espacios industriales a través de la mixidad funcional, la calidad ambiental, la inteligentización de los soportes y la optimización de la organización del suelo. En conjunto, los investigadores en planificación realizan principalmente análisis a nivel de los modelos espaciales de parques y fábricas, y las investigaciones se orientan más hacia la distribución de terrenos, la organización funcional, la dimensión y forma de los edificios, la organización de los flujos de producción internos, los equipamientos de infraestructura, etc., al servicio de la planificación y el diseño de los espacios materiales.

2.4 Características e insuficiencias de las investigaciones

Desde la perspectiva de las disciplinas, las escalas espaciales y los ejes de investigación, la

sustitución humano-máquina, como variable relevante del desarrollo económico y social, ha atraído la atención de las disciplinas concernidas. Numerosos investigadores han anticipado los impactos potenciales de las nuevas tecnologías sobre los espacios industriales futuros, y han intentado aportar respuestas científicas mediante la construcción teórica, la modelización de patrones y la práctica de la planificación. Sin embargo, dado que las nuevas tecnologías como la inteligencia artificial se encuentran aún en fase de emergencia y crecimiento rápido, las respuestas espaciales son relativamente tardías, y los fenómenos espaciales observables permanecen relativamente escasos. Las investigaciones sobre la dimensión espacial presentan aún insuficiencias tanto en la construcción teórica como en los estudios empíricos. Los estudios profundos sobre los procesos y mecanismos de evolución espacial, sobre la adecuación entre la oferta y la demanda espaciales, y sobre los efectos sinérgicos industria-ciudad-población son particularmente escasos, haciendo urgente la construcción de nuevos marcos explicativos. Véase la figura 4.

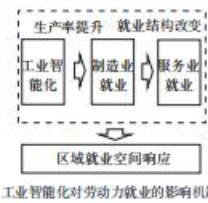
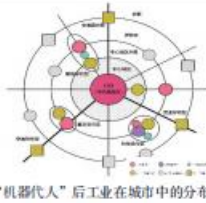
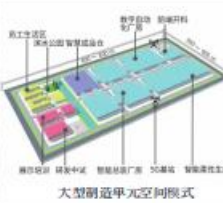
分析尺度	区域产业格局层面	产城空间关系层面	厂区/园区空间层面
分析框架	劳动力流动——区域发展	产业变迁——城市空间结构响应	技术应用——新空间利用模式
现有研究的认识论	机器人代人的技术属性	工业智能化及其区位变化	智能化产业空间的模式
	机器人代人与劳动力市场的地域性	新产业空间的“弹性化”模式	产业用地规模改变
	机器人代人的行业属性	产业从中心集聚走向分散、边缘布局	产业空间功能改变
	劳动力的区域迁移	就业由郊区向中心城区流动	产业空间形态改变
	企业的劳动力需求演化	大都市边缘区“产城分离”	智慧基础设施体系构建
涉及学科	产业经济学、劳动经济学、人口资源环境学	城乡规划学、产业经济学、地理学	城乡规划学、建筑学、总图运输等
典型研究范式	 生产率提升 就业结构改变 工业智能化 制造业就业 服务业就业 区域就业空间响应 工业智能化对劳动力就业的影响机制	 “机器人代”后工业在城市中的分布情形	 大型制造单元空间模式
	主要关注人，对物质空间的研究不足，缺乏人口—用地关联性研究	主要关注物质空间，对人的研究不足，较少关注人在城市空间中的“再流动”	主要聚焦空间本体的功能和形态，缺乏对产业环节微观组织的研究
未来研究潜在方向	机器人代引致的产业用地“无人化”“减人化”现象及其规律	就业空间和产业空间的分化带来的产城空间关系演化趋势	数智化技术驱动下的虚实结合的工业生产系统空间组织模式

Fig.4 Resumen del marco de investigación existente sobre la sustitución de máquinas en el espacio industrial

(1) A nivel regional, las investigaciones existentes se despliegan principalmente en torno a las características evolutivas de los factores de mano de obra a escala macrorregional, poniendo el énfasis en el aumento o la disminución de la población y las modificaciones de la distribución espacial, pero descuidando relativamente los cambios de escala y estructura de los terrenos industriales. Las investigaciones sobre la correlación población-terrenos son insuficientes. En el futuro, conviene proseguir los estudios sobre los fenómenos y las leyes de «desantropización» y «reducción de personal» de los terrenos industriales inducidos por la sustitución humano-máquina.

(2) A nivel urbano, las investigaciones sobre la mutación de los espacios industriales y la evolución de la estructura urbana son abundantes, pero se centran principalmente en los cambios de localización, escala, función y morfología de los soportes espaciales materiales como los parques industriales, descuidando relativamente las modificaciones de las elecciones de empleo de la mano de obra humana bajo el efecto de la sustitución humano-

máquina y las leyes de «reflujidad» de esta en el interior del espacio urbano. Las investigaciones futuras deberán necesariamente tomar en cuenta la diferenciación entre el espacio de empleo (el lugar de trabajo de la mano de obra humana) y el espacio industrial (el lugar dotado de funciones de producción), y servirse de ella como punto de entrada para repensar las tendencias evolutivas de las relaciones industria-ciudad.

(3) A los niveles microscópicos del parque y la fábrica, las investigaciones existentes ya han detectado los cambios en las funciones y formas espaciales materiales de los nuevos espacios industriales, pero los estudios sobre la lógica organizativa interna de los espacios industriales bajo el impulso de las tecnologías digitales e inteligentes permanecen relativamente escasos, especialmente en cuanto a los modos de combinación espacial y las opciones de «microlocalización» de las distintas etapas —gestión, I+D, fabricación, comercialización, etc.— de las empresas. Es necesario reexaminar las leyes espaciales a partir de los modelos organizativos internos de los sistemas de producción industrial.

3 Perspectivas de investigación: la transformación del paradigma del espacio industrial bajo la colaboración humano-máquina

3.1 Reconstrucción de la subjetividad espacial de la máquina: de la sustitución instrumental a la sustitución de actividad comportamental

En numerosos ámbitos —ciencia, literatura, cine—, la humanidad ha imaginado durante mucho tiempo la emergencia de una «vida silícica» dotada de una inteligencia comparable a la suya. Ya en 1950, en su obra *Yo, robot*, el escritor estadounidense de ciencia ficción Isaac Asimov formuló las célebres «tres leyes de la robótica», consideradas los «cimientos de la robótica moderna». Hoy, los robots pueden generar de manera autónoma determinadas acciones mediante el «cálculo comportamental». Aunque siguen siendo fundamentalmente dispositivos electromecánicos, se han convertido en máquinas con «sabor humano». En el futuro, con la elevación del nivel de inteligencia, los biorrobots probablemente podrán integrarse más profundamente en la sociedad como «otras personas».

Aunque esta autonomía de los robots se basa en algoritmos y sistemas de sensores definidos por el ser humano, les confiere no obstante la capacidad y el derecho de «decidir sobre la marcha» en numerosos escenarios espaciales. En el ámbito jurídico, expertos ya han señalado que los robots humanoides pueden entrar en el campo de los sujetos de responsabilidad jurídica, y han propuesto una arquitectura fundamental de gobernanza jurídica. Desde la perspectiva de la historia de la interacción entre el desarrollo tecnológico y la evolución urbana, los sujetos de desarrollo y utilización del espacio pasarán incontestablemente del ser humano único al «cuasi-humano»: los robots se despojarán de su único atributo de herramienta para adquirir, en cierta medida, las propiedades de actores espaciales independientes. Particularmente en los espacios industriales, la ocupación y el uso del espacio por las máquinas superarán ampliamente los de los humanos, «repeliendo» y «expulsando» a los humanos en el espacio.

Así, la interacción humano-máquina ya no se produce solo a nivel funcional, sino que se convierte en un escenario espacial omnipresente en las ciudades del futuro. Aunque este «rechazo» y esta «expulsión» espaciales estén motivados por la liberación del ser humano y la elevación de la productividad, de hecho provocan una modificación de la distribución geográfica del hombre y las máquinas, así como un reajuste del orden espacial urbano. Tal es la lógica fundamental por la cual la evolución de la relación humano-máquina influye en los modelos de organización de los espacios industriales.

3.2 Mutación de la lógica de asignación de recursos espaciales: del «acoplamiento hombre-territorio» al «desacoplamiento hombre-territorio» parcial

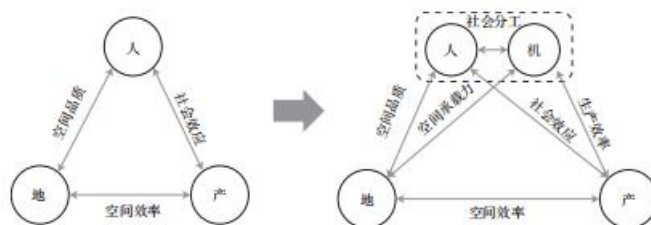
En teoría, cuando los robots poseen simultáneamente la capacidad de sustitución funcional y espacial de la mano de obra humana, el acoplamiento entre desarrollo de la productividad, agregación demográfica y expansión territorial deja de ser estable, lo que favorece la disolución de la lógica de desarrollo «industria — ciudad — población» heredada de la civilización industrial. La asignación de los recursos espaciales urbanos pasa del «acoplamiento hombre-territorio» al «desacoplamiento hombre-territorio». El núcleo de esta transición reside en la ruptura de la estrecha correlación entre el espacio urbano tradicional y la distribución de la mano de obra humana bajo la civilización industrial: la tecnología opera una recomposición transregional, tanto a nivel virtual como material, de las relaciones entre población, industria y organización espacial, provocando transformaciones profundas de la morfología urbana, la distribución funcional y el uso del suelo. En términos concretos de modelos de desarrollo urbano, supongamos que una ciudad tiene como función principal la producción industrial: cuando los eslabones de fabricación material alcanzan un alto grado de «desantropización», la expansión de la escala industrial pierde su efecto de agregación demográfica y de estímulo a la urbanización. En la realidad, ya observamos esta tendencia en algunas ciudades: ciudades manufactureras sólidas como Yancheng y Changzhou, o algunas ciudades monoindustriales, experimentan un fenómeno de «desacoplamiento hombre-territorio» entre contracción demográfica y crecimiento espacial. Algunas ciudades impulsadas por los servicios modernos, las industrias creativas y el crecimiento por el consumo podrían, en cambio, experimentar simultáneamente un crecimiento demográfico y una contracción espacial —lo que parece indicar que urbanización e industrialización pueden, en determinados casos, estar desacopladas—.

La aparición de esta nueva tendencia sacude profundamente las concepciones y las técnicas del urbanismo contemporáneo. El enfoque «determinado por el hombre» de manera igualitaria sin duda no puede adaptarse a las necesidades de desarrollo espacial de todas las ciudades, y al menos no refleja objetivamente las exigencias del desarrollo de las fuerzas productivas. Particularmente a escala macrorregional, la asignación de los recursos espaciales se complejiza, y la relación durante largo tiempo isomórfica entre localización industrial y localización urbana comienza a relajarse. En un caso extremo, cabe incluso imaginar la emergencia de una nueva «ciudad sin hombre» dominada por las funciones de «fabricación sin operarios», «extracción sin operarios» y «puertos sin operarios». Por tanto, en el marco de la nueva relación humano-máquina, es necesario establecer un marco de análisis de la evolución sinérgica «humano — máquina — territorio — industria», considerando al hombre y a las máquinas inteligentes conjuntamente como sujetos que participan en la división social del trabajo y en la utilización del espacio urbano: es preciso tanto reexaminar la cuestión de la capacidad de carga de los espacios industriales en un contexto de producción dominada por las máquinas, como continuar optimizando la calidad ambiental desde una perspectiva antropocéntrica; es preciso tanto considerar las ganancias de productividad aportadas por la sustitución humano-máquina, como contemplar los efectos sociales vinculados al reemplazo de la mano de obra; es necesario asimismo garantizar científicamente la oferta y la distribución de los espacios industriales, mejorando

la eficiencia espacial. Véase la figura 5.

Fig.5 Transformación de la lógica espacial de "industria humana-terrestre" a "industria humana-máquina-terrestre"

3.3 Reflexiones sobre la construcción de nuevos modelos de espacios industriales bajo la colaboración humano-máquina



3.3.1 Redistribución espacial bajo la reconstrucción de la subjetividad maquinal

Las máquinas no son seres humanos; están al servicio de los seres humanos. Pero es indiscutible que, cuando las máquinas adquieren determinadas capacidades de actividad análogas a las de los seres humanos, también deben ocupar el espacio al igual que los humanos. No todas las máquinas pueden integrarse en la sociedad humana con bajo impacto, de modo que la aplicación a gran escala de determinadas máquinas terminará por comprimir el espacio de las actividades humanas. Por analogía con las leyes evolutivas del mundo biológico, la introducción de las máquinas inteligentes como «nueva especie» en el orden espacial industrial anteriormente dominado por los humanos impone a la relación humano-máquina atravesar sucesivamente las fases de sustitución, adaptación y cohabitación, y luego simbiosis —produciendo bajo el efecto de las interacciones una «reacción de rechazo» del organismo espacial, antes de alcanzar progresivamente un nuevo orden espacial de simbiosis humano-máquina—. Para los profesionales de la planificación, la coordinación y distribución de las relaciones espaciales entre el hombre y las máquinas podría constituir una condición implícita de los futuros trabajos de planificación urbana y planificación de los espacios industriales: desde la organización de las redes de producción y logística regionales, la coordinación de las relaciones puerto-ciudad e industria-ciudad, hasta la planificación y construcción de las instalaciones complementarias de los parques industriales, la coordinación de las formas y funciones arquitectónicas con los sistemas de logística con/sin operarios, la cobertura y el mantenimiento de las infraestructuras digitales, etc., es preciso considerar simultáneamente las necesidades diferenciadas de utilización del espacio por los humanos y por las máquinas.

3.3.2 Reequilibrio industria-ciudad bajo la desantropización de los espacios manufactureros

Desde hace tiempo, los conceptos de «espacio industrial» y «espacio de empleo» no son más que dos expresiones diferentes de un mismo tipo de espacio: el espacio que alberga las funciones industriales es el que absorbe el empleo. Pero con la clarificación progresiva de la tendencia a la sustitución humano-máquina, constatamos que el sentido de este par de conceptos ha cambiado sutilmente: los espacios industriales centrados en la manufactura ya no son necesariamente capaces de concentrar el empleo, mientras que los espacios de empleo urbanos centrados en las oficinas y la I+D presentan características «distribuidas» y «atomizadas» —los espacios industriales y los espacios de empleo se han desacoplado—. Los parques industriales ven disminuir su frecuentación humana y vehicular, mientras que los repartidores a domicilio y los conductores de VTC se convierten en los nuevos depósitos de absorción del empleo. Por consiguiente, con la desaparición de los desplazamientos masivos

entre espacios industriales y urbanos, los espacios industriales y los espacios urbanos deben alcanzar un nuevo equilibrio. La integración industria-ciudad y la «separación industria-ciudad» —dos tendencias coexistentes— constituyen una dirección evolutiva potencial.

3.3.3 Correlación y sinergia entre espacios de producción físicos y espacios de producción virtuales

Los trabajos de planificación de los espacios industriales tradicionales se orientan principalmente hacia los espacios materiales: las directrices de tipo de industria, la zonificación funcional, la organización de los transportes, el diseño morfológico, la disposición de los equipamientos complementarios, etc., son los medios fundamentales de que disponen los planificadores para tratar estos espacios. Pero con la llegada generalizada de la era del digital inteligente, los espacios industriales entran también en una nueva fase de desarrollo digitalizado e inteligentizado. Más allá de los espacios físicos tangibles que son los talleres de fábrica, las sedes centrales, los laboratorios de I+D y los puntos de venta, los espacios virtuales generados por las tecnologías del cloud industrial, el Internet industrial y el big data industrial constituyen igualmente componentes esenciales del sistema de producción. Estas redes de producción fundamentadas en los flujos de información y la potencia de cálculo crean las condiciones para la organización transregional y la distribución discreta de las distintas etapas —gestión, I+D, fabricación y comercialización— de las empresas. Bajo la gran tendencia hacia una distribución «distribuida» de la configuración espacial de la producción industrial, aunque el código y los algoritmos no pueden transformar directamente el espacio material, reestructuran en cierta medida la lógica subyacente de la distribución y la explotación de los espacios industriales, determinando las actividades de los individuos humanos y de los robots en el sistema de producción industrial. Así, la sinergia espacial humano-máquina no se produce únicamente en los espacios industriales concretos en el sentido tradicional, sino también en los espacios digitalizados. El medio de la planificación ya ha tomado conciencia del papel importante de la inteligencia artificial y los algoritmos en la organización y la gobernanza espaciales. Los planificadores deben, en el diseño de los espacios industriales, adoptar con mayor fuerza un pensamiento «en la nube», poniendo el énfasis en las características de organización en cadena y en red de los espacios, y hacer evolucionar la investigación en planificación de los espacios industriales de una disposición relativamente estática de las categorías industriales, los clusters y las empresas hacia un enfoque dinámico de los modelos de organización de la producción, las etapas de producción, los procesos de fabricación, la división y el ratio humano-máquina, con el fin de responder mejor a las necesidades espaciales diferenciadas de las distintas categorías industriales y de las distintas etapas de producción.

4 Conclusión

La inteligencia propia de las máquinas constituye una variable de gran magnitud que nunca había surgido en ninguna fase histórica anterior. Cuando la ola histórica del digital inteligente y la «sustitución de los humanos por las máquinas» irrumpe, las máquinas inteligentes, al tiempo que elevan la productividad de la sociedad humana, deberán inevitablemente «reivindicar» los espacios correspondientes y convertirse en usuarios importantes de los espacios industriales. La relación humano-máquina ya no remite únicamente a los ámbitos filosófico y ético, sino que se transforma en una cuestión espacial concreta.

El estudio revela que un número creciente de expertos e investigadores prestan atención a las transformaciones espaciales generadas por las nuevas tecnologías como la inteligencia

artificial, con trabajos que combinan profundidad teórica e imaginación, proporcionando un apoyo de investigación importante para el desarrollo de los espacios industriales en la era de la inteligencia artificial. El estudio constata asimismo que, debido a la fulgurante evolución tecnológica, las exploraciones actuales se basan todavía mayoritariamente en marcos de análisis espacial tradicionales, careciendo de una reflexión teórica sistemática sobre las últimas tendencias tecnológicas y los escenarios de aplicación. El determinismo tecnológico sigue siendo la orientación dominante, con una reflexión relativamente insuficiente sobre el sistema socioespacial bajo el impulso tecnológico, en particular en lo relativo a la atención prestada al espacio de los humanos sustituidos por las máquinas. Ciertamente, el presente estudio se limita a un recorrido e interpretación limitados de las tendencias de desarrollo y las concepciones de planificación de los espacios industriales futuros bajo un nuevo ángulo de evolución de la relación humano-máquina. Se realizarán investigaciones más profundas en el futuro sobre la construcción teórica y el empirismo espacial del desarrollo de los espacios industriales en el marco de esta evolución humano-máquina, con el fin de proponer nuevas vías para el desarrollo y la planificación de las ciudades del futuro en la era del digital inteligente.

Agradecimientos a los expertos revisores por sus valiosos comentarios sobre este artículo.

Notas

- ① El «efecto de expulsión» designa la sustitución directa por las máquinas de los puestos de trabajo repetitivos (como los obreros de cadena de producción), provocando el desempleo de una parte de los trabajadores. El «efecto de creación» designa los nuevos empleos generados por la aplicación de nuevas tecnologías, incluyendo ingenieros mecánicos, ingenieros de algoritmos, analistas de datos, etc.
- ② La actualización tecnológica se refiere a la elevación de la eficiencia de la producción mediante la inteligentización de las máquinas, mientras que la degradación laboral designa el proceso por el cual los trabajadores, debido a la descomposición de sus competencias en operaciones simples, son progresivamente relegados a roles auxiliares o incluso reemplazados.
- ③ Los saberes tácitos en la producción industrial son las experiencias intuitivas y las competencias situacionales acumuladas por los trabajadores a lo largo de largas prácticas, difíciles de codificar —como el tacto de precisión, la detección olfativa de averías o los «trucos» de resolución de problemas complejos— que constituyen la ventaja fundamental del hombre frente a la máquina.

Referencias

- [1] MUMFORD L. Técnica y civilización [M]. LIN Hua, trad. Beijing: China CITIC Press, 2025.
- [2] WANG Kai, ZHAO Yanjing, ZHANG Jingxiang, et al. Debate académico sobre las «nuevas fuerzas productivas y la planificación urbana y rural» [J]. Urban Planning Forum, 2024(4): 1-10.
- [3] WU Zhiqiang, YAN Juan, XU Haowen, et al. Diez temas clave anuales del desarrollo de la disciplina de la planificación urbana (2024–2025) [J]. Urban Planning Forum, 2024(6): 8-11.
- [4] WIENER N. El humano tiene un uso humano: cibernética y sociedad [M]. CHEN Bu, trad. Beijing: Peking University Press, 2010.
- [5] REN Xiaoming, PAN Qin. El pensamiento filosófico de von Neumann en la informática [J].

Studies in Philosophy of Science and Technology, 2011, 28(4): 18-22.

[6] WANG Shijun, ZHAO Liqun, HU Zhibin. El desarrollo de la nueva generación de inteligencia artificial y la respuesta china: desde la perspectiva de la «segunda revolución mecánica» [J]. E-Government, 2020(4): 58-69.

[7] FLORIDI L. The fourth revolution: how the infosphere is reshaping human reality [M]. OUP Oxford, 2014.

[8] GUO Yike. Reflexiones sobre la historia, el estado actual y la estrategia de desarrollo futuro de la inteligencia artificial [J]. Frontiers of Academic Forum, 2021(23): 41-53.

[9] WANG Chen, REN Xiangshi. De la interacción humano-máquina al cálculo coasistido: evolución del pensamiento y perspectivas futuras de la relación humano-máquina [J]. Science & Technology Review, 2024, 42(8): 6-20.

[10] YU Hanchao, WANG Feng, JIANG Shuqiang. Algunas cuestiones urgentes del desarrollo de la inteligencia artificial en China [J]. Science & Technology Review, 2018, 36(17): 40-44.

[11] DONG Zhixin, YANG Jun. La lógica capitalista del desarrollo de la inteligencia artificial y su regulación: a propósito de Sapiens y Homo Deus [J]. Economist, 2018(8): 20-26.

[12] PENG Xianyan, WANG Dan. La lógica histórica de la transformación de la relación humano-máquina desde la perspectiva del materialismo histórico [J]. Modern Business Trade Industry, 2025(2): 176-178.

[13] WANG Weihua, YANG Jun. Reflexión económico-filosófica sobre el valor antropológico del desarrollo de la inteligencia artificial [J]. Journal of Xi'an University of Finance and Economics, 2022, 35(3): 54-64.

[14] HE Jiang, YAN Shumin. División del trabajo humano-máquina: lógica generativa, tipos de modelos y mecanismos de acción [J]. Nankai Business Review, 2024, 27(6): 88-99.

[15] EINOLA K, KHOREVA V. Best friend or broken tool? Exploring the co-existence of humans and artificial intelligence in the workplace ecosystem [J]. Human Resource Management, 2023, 62(1): 117-135.

[16] LI Qiongqiong, LI Zhen. Dialéctica de la «relación humano-máquina» en la era inteligente: el eco contemporáneo del pensamiento marxiano sobre «el hombre y la máquina» [J]. Studies in Mao Zedong and Deng Xiaoping Theories, 2021(1): 71-79.

[17] ZHOU Jing, XIAO Yang. Nuevas problemáticas de la investigación sobre el progreso tecnológico y el desarrollo urbano y rural en la era de la inteligencia artificial [J]. Shanghai Urban Planning, 2022(5): 1-6.

[18] HUANG Zhaoyi, YANG Dongyuan. Estudio comparativo de las teorías de la ciudad futura [J]. Urban Planning Forum, 2001(1): 1-6.

[19] BATTY M. Inventing future cities [M]. Cambridge: MIT Press, 2018.

[20] WU Zhiqiang, HAN Jing, ZHAO Qian, et al. 300 años de proyectos de ciudad futura: características y reflexiones fundamentales [J]. Urban Planning, 2025, 49(2): 4-12.

[21] WANG Song, HUANG Jingsnan, WANG Cunsong, et al. Conjeturas sobre la evolución del espacio urbano bajo el impacto de la inteligencia artificial: perspectiva de la futurología urbana [J]. Urban Development Studies, 2023, 30(12): 18.

[22] WEI Cheng, CHEN Sainan, SHEN Jing. Tendencias evolutivas del espacio urbano bajo el impulso de la inteligencia artificial y respuesta de la planificación [J]. Urban Development Studies, 2022, 29(7): 47-54.

[23] YANG Yongchun, JIAN Yuting. Reformas y desafíos del desarrollo de la geografía urbana en la era de la inteligencia artificial [J]. Acta Geographica Sinica, 2024, 79(10): 2425-2441.

- [24] XU Wenbo, WANG Xingping, WANG Yizhe. Innovación y respuesta de la planificación del espacio urbano futuro en la era de la economía sin operarios [J]. *Planners*, 2024, 40(6): 39-45.
- [25] SRAFFA P. Obras y correspondencia de Ricardo [M]. Beijing: The Commercial Press, 1997.
- [26] SATO R. The estimation of biased technical change and the production function [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1992, 107(1): 35-78.
- [27] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares, and employment [J]. *American Economic Review*, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [28] BERG A, BUFFIE E F, ZANNA L F. Should we fear the robot revolution? (The correct answer is yes) [J]. *Journal of Monetary Economics*, 2018, 97: 117-148.
- [29] MENG Hao, ZHANG Meisha. ¿Cómo afecta la inteligencia artificial a la demanda de empleo? Evidencias empíricas a nivel de las empresas chinas [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences)*, 2021, 41(5): 65-73.
- [30] QU Xiaobo, CHENG Jie. La evolución de la estructura del empleo en China: ¿«actualización» o «polarización»? [J]. *Labour Economics Research*, 2015, 3(1): 119-144.
- [31] XU Yi, YE Xin. ¿Actualización tecnológica, degradación laboral? Estudio sociológico de tres fábricas de «reemplazo de trabajadores por máquinas» [J]. *Sociological Studies*, 2020, 35(3): 23-46.
- [32] YU Lingzheng, WEI Xiahai, SUN Zhongwei, et al. Robots industriales, tareas de trabajo y prima de las capacidades no convencionales: evidencias de la encuesta emparejada «empresa-trabajador» en la industria manufacturera [J]. *Management World*, 2021, 37(1): 47-59.
- [33] ACEMOGLU D, HANSON G H, DORN D, et al. Return of the solow paradox? IT, productivity, and employment in US manufacturing [J]. *American Economic Review*, 2014, 104(5): 394-399.
- [34] DAVID B. Computer technology and probable job destructions in Japan: an evaluation [J]. *Journal of the Japanese and International Economies*, 2017, 43: 77-87.
- [35] SHAO Wenbo, SHENG Dan. El enigma de la caída de la absorción de empleo de las empresas chinas por la informatización [J]. *Economic Research Journal*, 2017, 52(6): 120-136.
- [36] ZHOU L, JIE Y, YE Z, et al. Understanding the geographical process of the decline in manufacturing employment in China between 2000 and 2020 [J]. *Population, Space and Place*, 2025, 31: e2855.
- [37] KONG Gaowen, LIU Shasha, KONG Dongmin. Robots y empleo: un análisis exploratorio basado en la heterogeneidad sectorial y regional [J]. *China Industrial Economics*, 2020(8): 80-98.
- [38] SUN Zao, HOU Yulin. Inteligentización industrial y transferencia de gradiente industrial: una re-examen de la «teoría del vuelo de gansos» [J]. *The Journal of World Economy*, 2021, 44(7): 29-54.
- [39] YOU Lie, CHEN Chen, ZHAO Min. Superar el punto de inflexión de Lewis en el desarrollo urbano y rural de China: reflexiones teóricas y políticas suscitadas por el fenómeno del «reemplazo de trabajadores por máquinas» [J]. *Urban Planning*, 2017, 41(6): 9-17.
- [40] WANG Shubin. Actualización de la inteligentización industrial y diferenciación de la estructura jerárquica de las ciudades [J]. *The Journal of World Economy*, 2020, 43(12): 102-125.
- [41] WANG Linhui, JIANG Hao, DONG Zhiqing. ¿La inteligentización industrial remodelará la

geografía empresarial? [J]. *China Industrial Economics*, 2022(2): 137-155.

[42] WEI Xiahai, GUO Kaiming, WU Chunxiu. Tecnología digital, coste de la mano de obra y elección de relocalización de las empresas [J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2021(1): 104-116.

[43] LI X, HUI E C, LANG W, et al. Transition from factor-driven to innovation-driven urbanization in China: a study of manufacturing industry automation in Dongguan City [J]. *China Economic Review*, 2020, 59: 101382.

[44] HUANG Meiyu, QIN Xiaozhen, ZHOU Jinmiao. «Reemplazo de los hombres por las máquinas» y nuevo modelo de crecimiento urbano: caso del distrito de Shunde, ciudad de Foshan, provincia de Guangdong [J]. *Tropical Geography*, 2019, 39(1): 11-19.

[45] HUANG Jingshan, YANG Shilin. La evolución del espacio urbano bajo el impulso del reemplazo de trabajadores por máquinas y las respuestas de la planificación: algunas reflexiones preliminares [J]. *Urban Development Studies*, 2021, 28(3): 58-64.

[46] HUANG Jingshan, YU Guangping, YANG Shilin, et al. De la ciudad industrial a la ciudad posindustrial y a la ciudad de inteligencia artificial: reflexiones sobre la evolución de los espacios industriales urbanos bajo el efecto del reemplazo de trabajadores por máquinas [J]. *Urban Development Studies*, 2023, 30(3): 98-105.

[47] BI Xuecheng, ZHANG Dongyin, YE Xianquan, et al. Características y factores de la distribución de las actividades industriales en las megalópolis desde la perspectiva «suelo-edificación»: caso de Shenzhen [J]. *Tropical Geography*, 2025, 45(3): 374-385.

[48] XU Wenbo, WANG Xingping, CHEN Qiuyi. Interacción entre la migración de las empresas manufactureras y la evolución del paisaje de la innovación urbana: estudio empírico de 51 empresas en Shenzhen [J]. *Urban Planning Forum*, 2023(3): 92-99.

[49] RAN Aobo, YANG Dong. Estrategias de planificación de los nuevos espacios industriales inteligentes bajo el posfordismo [J]. *Planners*, 2023, 39(7): 16-23.

[50] QIN Jing. Características de la distribución espacial de los clusters industriales de fabricación inteligente y respuesta de la planificación [J]. *Planners*, 2023, 39(7): 1-8.

[51] YAN Xuexin, ZHOU Jie, SHENG Fubin, et al. Impacto diferenciado de los tipos de industria sobre los flujos de población empleada en las afueras de las grandes ciudades: caso de Wuhan [J]. *Economic Geography*, 2023, 43(10): 63-74.

[52] LIN Shijia, NIU Xinyi. Características evolutivas y estrategias de optimización de la estructura espacial de las grandes ciudades desde la perspectiva de la adecuación «población-industria»: caso de Shanghai [J]. *Shanghai Urban Planning*, 2024(3): 86-93.

[53] ZHANG Zhenlong, WU Di, JIANG Lingde. Medición del nivel de desarrollo coordinado del acoplamiento de la estructura población-industria urbana y análisis de los factores de obstáculo: caso de Suzhou [J]. *Modern Urban Research*, 2024(6): 126-132.

[54] YIN Laisheng, ZHANG Shumin. Vías de transformación y mejora de los municipios especializados en el contexto de la nueva industrialización: caso del «reemplazo de trabajadores por máquinas» en Dalang, Dongguan [J]. *Journal of Dongguan University of Technology*, 2017, 24(4): 1-6.

[55] JIAO Hongshuo, LU Jianxia. Estado del arte sobre las fábricas inteligentes y sus tecnologías clave [J]. *Mechanical & Electrical Engineering*, 2018, 35(12): 1249-1258.

[56] YANG Chunli. Análisis de las tendencias de desarrollo de las fábricas inteligentes en China [J]. *China Industry Review*, 2016(1): 56-63.

[57] LI Wenzhu, LIANG Jianing, LI Weijian, et al. Investigación sobre la respuesta de la

planificación espacial urbana futura bajo el impulso tecnológico: caso del proyecto temático de la ciudad futura en la planificación del espacio territorial de Heihe [J]. *Planners*, 2023, 39(3): 27-35.

[58] CHEN Jiaping, ZENG Rong, SUN Muchen. Análisis de las características de distribución y los factores de influencia de las fábricas faro en China [C]// Sociedad China de Urbanismo. Ciudad del pueblo, planificación capacitadora: Actas del congreso anual de la planificación urbana china 2023. Beijing: China Architecture & Building Press, 2023.

[59] ZHU Kai, GU Zhiling, SUN Wanxiang, et al. Investigación sobre el marco y los modelos de microorganización de los espacios industriales urbanos para las fábricas del futuro [J]. *Planners*, 2023, 39(5): 61-67.

[60] WEI Cheng, CHEN Sainan, QIU Keying, et al. Necesidades y respuesta de la planificación a los nuevos espacios industriales inteligentes en la era del «reemplazo de trabajadores por máquinas»: caso de la concepción y planificación del parque industrial norte de Zhongshan [J]. *Planners*, 2023, 39(7): 24-31.

[61] ASIMOV I. La colección integral de relatos de robots [M]. YE Lihua, trad. Nanjing: Jiangsu Phoenix Literature and Art Publishing House, 2014.

[62] FENG Xisheng. El robot no es un humano, es una máquina, pero hay que tratarlo como a un humano [J]. *Science and Society*, 2015, 5(2): 1-9.

[63] LI Ting. La evolución conjunta del hombre y la máquina [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014.

[64] XIAO Junyong, ZHOU Shilin. Debate y justificación de la cualidad de sujeto jurídico de los robots humanoides [J]. *Academic Exchange*, 2025(1): 44-58.

[65] LI Sheng. Arquitectura fundamental de la gobernanza jurídica de los robots humanoides [J]. *Dongfang Law*, 2024(3): 117-128.

[66] EICHHOLZ L. Municipal AI integration: a structured approach [J/OL]. *Frontiers of Urban and Rural Planning*, 2025, 3(6): 152. [2025-07-05]. <https://doi.org/10.1007/s44243-025-00056-3>.

[67] YUAN Qifeng, LI Gang, XUE Yanfu. Transformación de la innovación y respuesta espacial de la zona de desarrollo de Guangzhou desde la perspectiva de los clusters industriales [J]. *Urban Planning Forum*, 2022(4): 95-102.