بناء سلم أعلى

التكنولوجيا والعلوم يعززان بعضهما ليواصل الاقتصاد العالمي ارتقاءه

جويل موكير

شكك كثير من خبراء الاقتصاد خلال السنوات الأخيرة في قدرة التقدم التكنولوجي على الاستمرار في دفع الاقتصاد إلى الأمام برغم انخفاض النمو السكاني، وارتفاع نسب الإعالة (دراسة Gordon 2016)، وطبقا لمن ينتمون إلى هذا المعسكر، قد تم جنى ثمار النجاحات السريعة إلى حد كبير، كما أن تحقيق مزيد من التقدم سيزداد صعوبة (Bloom and others 2017).

ويرى آخرون أن العلم يسمح لنا ببناء سُلَّمٍ أعلى وأعلى لتحقيق النجاحات الأصعب. ويؤكد المؤيدون لهذا الرأي أنه طبقا للرؤى العلمية سريعة التطور، لا تزال الطفرات التكنولوجية تمتلك إمكانات تغيير الحياة في المستقبل القريب بقدر ما حققته على مدار قرن ونصف منذ الحرب الأهلية في الولايات المتحدة.

لماذا تبدو فكرة استمرار التقدم العلمي معقولة؟ إن التقدم التكنولوجي لا يؤثر على الانتاجية على نحو مباشر فحسب، بل

يكتسب أيضا مزيدا من الاستقلالية عن طريق إعطاء العلم أدوات أقوى للاستعانة بها. فالقدرات البشرية محدودة من حيث القياس بدقة عالية، وملاحظة الأشياء الصغيرة جدا، والتغلب على الأخطاء البصرية وغيرها من الأخطاء الحسية، وإجراء عمليات حسابية معقدة بسرعة. ويكمن جزء من فائدة التكنولوجيا في مساعدتنا في التغلب على أوجه القصور التي فرضها التطور علينا، ومعرفة ظواهر طبيعية لم نكن لنراها أو نسمع عنها — وهو ما أطلقت عليه دراسة Derek Price (1984) «الوحي الاصطناعي». فكثير مما تحقق في الثورة العلمية إبان القرن السابع عشر كان نتيجة توافر وسائل وأدوات أفضل، مثل تليسكوب جاليليو، ومجهر هوك.

وبالمثل، كان التقدم العلمي في العصر الحديث يعتمد على الأدوات الموضوعة تحت تصرف الباحثين، فالجمع بين المجهرية المحسنة والأساليب المعملية الأفضل ساعد على اكتشاف نظرية الجرثومية، التي يمكن وصفها بإنها واحدة من أعظم الإنجازات الطبية على الإطلاق. وهناك أمثلة متعددة في القرن العشرين توضح أثر تحسن الوسائل والأساليب العلمية، وتعد أشعة إكس في علم البلوريات من أعظم اكتشافات العلم الحديث، حيث كان لهذه التقنية دور محوري في اكتشاف تركيب العديد من الجزيئات البيولوجية ووظيفتها، بما فيها الفيتامينات والعقاقير والبروتينات؛ وكان أشهر تطبيقاتها دون شك هو اكتشاف تركيب جزيء الحمض النووي، إلا أن استخدامها كان محوريا في تسع وعشرين مشروعا آخر فائز بجائزة نوبل.

ولا يزال المجهر من بين الأدوات التقليدية المستخدمة في عصرنا هذا، فهو من أكثر الأدوات المستعملة نظرا لدوره الأساسي في التوجه الكلي نحو التصغير– أي لفهم العالم والتأثير فيه على مستويات أصغر وأصغر. فمجهريات المسح النفقي التي جاء اختراعها في بداية الثمانينات من القرن الماضي بدأت البحث على المستوى النانوسكوبي. وكان مجهر بيتزغ–هيل الفلوري فائق الدقة الذي ظهر في وقت أحدث، وحصل مخترعوه على جائزة نوبل في الكيمياء، بالنسبة لمجهر ليفينهوك بمثابة جهاز نووي حراري بالنسبة للمفرقعات النارية. وينطبق الشيء نفسه على استخدام المنظار، حيث سيتم قريبا استبدال منظار هابل الثوري بمنظار جيمس ويب الفضائي الأكثر تقدما.

وتعد كل من الحوسبة السريعة (بما فيها تخزين البيانات غير المحدود على نحو عملي، وأساليب البحث)، وتكنولوجيا الليزر اثنتان من الأدوات العملية القوية التي لم تتوافر إلا مؤخرا وتشكل طفرات مختلفة تماما عن الماضي. وبالطبع وجد كل منهما عددا لا يحصى من التطبيقات المباشرة في انتاج السلع الرأسمالية والسلع الاستهلاكية. وقد امتد أثر الحواسب الآلية على العلم إلى أبعد بكثير من مجرد تحليل قواعد البيانات الضخمة، والتحليل الإحصائي المعياري: لقد ظهرت حقبة جديدة من علم البيانات يتم فيها استبدال

التقدم التكنولوجي لا يؤثر على الانتاجية مباشرة فحسب، بل يكتسب أيضا الاستقلالية عن طريق إعطاء العلم أدوات أقوى للاستعانة بها.

النماذج بأجهزة قوية لتحليل البيانات الكبرى. وتستخدم الحواسب القوية لوغاريتمات تعليم الآلة بهدف اكتشاف الأنماط التي لم يستطع العقل البشري حتى أن يحلم بها. وبدلا من التعامل مع نماذج، يتم اكتشاف العمليات المنتظمة وعلاقات الارتباط من خلال حواسب قوية حتى لو كانت «ملتوية جدا لدرجة لا يستطيع العقل البشري استرجاعها أو توقعها» (دراسة Weinberger 2017, 12).

ولكن الحواسب الآلية تستطيع القيام بأكثر من تحليل البيانات: فهي تستطيع المحاكاة أيضا، وبالتالي يمكنها تقريب حل المعادلات الصعبة للغاية مما يسمح للعلماء بدراسة العمليات الفسيولوجية والمادية التي يصعب فهمها حتى اليوم، وتصميم مواد جديدة، ومحاكاة نماذج رياضية للعمليات الطبيعية التي طالما شكلت تحديا لمحاولات الحل الأحادي. وقد أدت هذه المحاكاة إلى ظهور مجالات «حوسبة» بحثية جديدة يكون فيها للمحاكاة ومعالجة البيانات الكبيرة دور تكميلي إلى حد كبير في مجالات شديدة التعقيد. ومن الناحية التاريخية، كان بعض العلماء يحلمون بمثل هذه الأداة، ولكن العقد الأخير وحده هو الذي

الرسم التوضيحي: ISTOCK.COM/FESCAFEINE

إذا كانت الطاقة تهيمن على تاريخ أول ثورتين صناعيتين، قد يشهد المستقبل فعليا تقدما جذريا في تطوير مواد جديدة

سيشهد القدرة على القيام بذلك على مستوى سيؤثر حتما على قدراتنا التكنولوجية، ومن ثم يؤثر على الانتاجية وربما الرفاه الاقتصادي.

ومع ظهور الحوسبة الكمية، قد تزداد القوة الحسابية في كثير من هذه المجالات لسبب جوهري. وبالمثل، فإن الذكاء الاصطناعي، الذي لا يزال يمثل مصدرا لكثير من القلق نتيجة إحلاله محل العمالة المتعلمة التي تمتلك المعرفة وليس الوظائف الروتينية فحسب، قد يصبح أكثر مساعد بحثي فعال في العالم، حتى وإن كان لن يصبح أبدا أفضل باحث في العالم (مجلة *Economist* 2016, 14).

وتمثل تكنولوجيا الليزر أداة علمية ثورية بنفس القدر من الأهمية؛ فعندما تم تطوير تكنولوجيا الليزر الأولى، قيل إن مخترعيها ظنوا أنها عبارة عن تقنية «في طور البحث عن تطبيق». ولكن في فترة الثمانينات من القرن العشرين، تم استخدام الليزر بالفعل لتبريد العينات متناهية الصغر حتى درجات حرارة منخفضة على نحو غير مسبوق، مما نتج عنه إحراز مراحل تقدم مهمة في علم الفيزياء. أما الآن، فالتوسع في استخدام الليزر في العلوم وصل إلى نطاق مذهل. وأحد أهم تطبيقات الليزر هو القياس الطيفي للتكسير المستحث ضوئيا، وهو أداة متعددة الجوانب والاستعمالات بشكل مذهل تستخدم في مجموعة كبيرة من المجالات التي تتطلب تحليلا كيميائيا سريعا على المستوى الذري، دون إعداد عينة. ويعرف «اللادار» (رادار خفيف) بأنه تقنية مسح تعتمد على الليزر وتنتج صورا ثلاثية الأبعاد بتفاصيل دقيقة للغاية تُستخدم في علم الجيولوجيا، وعلم الزلازل، والاستشعار عن بعد، وفيزياء الغلاف الجوي، فضلا على المساعدة إلى حد كبير مؤخرا في مراجعة تقديراتنا لحجم ومدى تطور حضارة المايا قبل الحقبة الكولومبية في غواتيمالا. ولكن الليزر أيضا عبارة عن أداة آلية يمكنها اجتثاث (إخراج) المواد لأغراض التحليل. وبالنسبة لعمليات الاجتثاث بالليزر، يمكن اجتثاث أي نوع من العينات الصلبة لتحليلها؛ وليست هناك شروط تتعلق بحجم العينات كما لا توجد إجراءات تحضير للعينة. كذلك تم استخدام طريقة قياس التداخل بالليزر لاكتشاف موجات الجاذبية التي افترضها أينشتاين والتي تمثل واحدة من أكثر الاكتشافات التي بُني عليها في الفيزياء الحديثة.

قرن البيولوجيا

ولا يزال أمامنا الكثير. وكما أشار فريمان دايسون، إذا كان القرن العشرين هو قرن الفيزياء، فإن القرن الحادي والعشرين سيكون قرن البيولوجيا، لأن التطورات الأخيرة في البيولوجيا الجزيئية وعلم الوراثة تنطوي على تغيرات ثورية في القدرات البشرية على التأثير في الكائنات الحية الأخرى. ومن أبرز هذه التطورات انخفاض تكاليف تسلسل الجينوم بمعدل يجعل قانون مور يبدو خاملا مقارنة بذلك: انخفضت تكلفة التسلسل من ٩٥ مليون دولار لكل جينوم في ٢٠٠١ إلى حوالي ١٢٥٠ دولارا في ٢٠١٥.

ويشكل أسلوب مراجعة زوج أساسي في التسلسل الوراثي أسلوبا واعدا بسبب التطورات الأخيرة في أساليب التكرارات العنقودية المتناوبة منتظمة التباعد كاس ٩ (CRISPR Cas9). أما الأسلوب الآخر فهو علم الأحياء التركيبي الذي يسمح بتصنيع المنتجات العضوية دون وساطة الكائنات الحية. وقد ظلت فكرة انتاج بروتين بدون خلية قائمة على مدار حوالي عقد من الزمان، إلا أن مقوماتها الكاملة لم تصبح معروفة للعامة إلا مؤخرا، حتى وإن كان تحقيقها لا يزال يحتاج إلى سنوات.

علاقة تكافلية

مع هذا، لا يزال هناك الكثير من الجديد تماما تحت الشمس. فإذا كانت الطاقة تهيمن على تاريخ أول ثورتين صناعيتين، فإن المستقبل أيضا قد يشهد فعليا تقدما هائلا في تطوير مواد جديدة. وتسمية أي حقبة اقتصادية باسم المادة الخام السائدة آنذاك («العصر البرونزي») هي عادة قديمة بين المؤرخين. ولم يتسنى تحقيق كثير من الأفكار التكنولوجية في الماضي لأن المواد التي توافرت للمخترعين لم تكن ببساطة كافية لجعل تصاميمهم تدخل حيز الواقع. ولكن الإنجازات الأخيرة المدفوعة بالعلم في علوم الماديات تسمح للعلماء بتصميم تركيبات جديدة لم تعرفها الطبيعة من قبل. وتبشر هذه المواد الاصطناعية التي يتم تطويرها على مستوى النانو تكنولوجي، بتطوير مواد توفر خواص محددة من حيث الصلابة والتحمل والمرونة وغيرها حسب الطلب. ولا تزال الراتنغات الجديدة، والخزف المتقدم، والمواد الصلبة الجديدة، والأنابيب النانوية الكربونية جميعها في طور التطوير أو التحسين.

ويبدو أن الذكاء الاصطناعي والليزر والهندسة الوراثية تصنف على أنها تكنولوجيا المنفعة العامة التي تنطوي على العديد من التطبيقات عبر نطاق واسع من الاستخدامات في مجالي الانتاج والبحوث. ويبدو أن هناك اتفاق واسع النطاق على أن تكنولوجيا المنفعة العامة — مثل تعلم الآلة —

عادة ما تستغرق وقتا لتأثر تأثيرا كاملا على الاقتصاد، لأنها تتطلب ابتكارات واستثمارات تكميلية، إلا أنها تبشر بتغيرات تحويلية في ظروف البشر من أبعاد كثيرة.

ولا يمكن وضع أي من هذه التنبؤات التكنولوجية بأي قدر من اليقين، وحتما سيتم تحقيق بعض الإنجازات التي لا يتوقعها أحد، في حين أن بعض الإنجازات الأخرى الواعدة ستكون مخيبة للآمال. ولكن إثبات حالة استمرار التقدم التكنولوجي بسرعة كبيرة للغاية لا يتوقف على مجال تكنولوجي معين أو غيره، إنما يستند ذلك إلى مشاهدة تطور التكنولوجيا والعلم سويا بأسلوب تكافلي من خلال منح الباحثين في مجال العلوم أدوات أقوى بكثير للعمل بها. وكان بعض هذه الأدوات معروفا في شكل أكثر بدائية على مدى قرون؛ في حين أن بعضها الآخر عبارة عن اختراعات أصلية ليس لها بشائر واضحة.

وهناك كثير مثل الأدوات الجديدة التي عرفها القرن السابع عشر في حقبة الثورة العلمية وعصر البخار والكهرباء، بينما الحواسب الآلية عالية القدرة والليزر وغيرها من أدوات عصرنا ستؤدي إلى إنجازات تكنولوجية لا يمكن تخيلها اليوم كما لم يتخيل جاليليو يوما اختراع القاطرات. FD

جويل موكير أستاذ كرسي روبرت ستروتز للاقتصاد في جامعة نورث ويسترن.

يستند هذا المقال إلى الدراسة بعنوان «ماضي الابتكارات ومستقبلها: بعض الدروس من التاريخ الاقتصادي»، قيد الإصدار في استكشافات في التاريخ الاقتصادي *"The Past and the Future of Innovation: Some Lessons from Economic History,"*

المراجع:

Bloom, Nicholas, Charles I. Jones, John Van Reenen, and Michael Webb. 2017. "Are Ideas Harder to Find?" Unpublished working paper, Stanford University, Stanford, CA.

Economist. 2016. "The Return of the Machinery Question." June 25, 1–14.

Gordon, Robert J. 2016. *The Rise and Fall of American Growth*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Price, Derek J. de Solla. 1984. "Notes towards a Philosophy of the Science/Technology Interaction." In *The Nature of Knowledge: Are Models of Scientific Change Relevant?* Edited by Rachel Laudan. Dordrecht, Netherlands: Kluwer.

Weinberger, David. 2017. "Alien Knowledge: When Machines Justify Knowledge."