LỜI NÓI ĐẦU

Cuộc cách mạng sản xuất tiếp theo kế thừa sự hội tụ của các công nghệ, từ các công nghệ số (như in 3D, Internet vạn vật và người máy tiên tiến) đến các loại vật liệu mới (sinh học hay nano) cho tới các quy trình mới (như sản xuất dựa vào dữ liệu, trí tuệ nhân tạo và sinh học tổng hợp). Một số công nghệ này đã được ứng dụng vào sản xuất, trong khi những công nghệ khác sẽ xuất hiện trong một tương lai gần. Khi các công nghệ này biến đổi sản xuất và phân phối hàng hóa và dịch vụ, chúng sẽ tạo ra những hệ quả rộng lớn về năng suất, kỹ năng, phân phối thu nhập, phúc lợi và môi trường. Tất cả các công nghệ này đang phát triển nhanh chóng, do đó các chính phủ càng hiểu rõ về cách thức sản xuất có thể phát triển, họ sẽ càng có cơ hội chuẩn bị tốt hơn cho những rủi ro và gặt hái những lợi ích mà các công nghệ này mang lại.

Một loạt các chính sách, thể chế, công nghệ và các xu hướng lớn sẽ định hình tương lai của sản xuất. Ví dụ, điều kiện môi trường và sự khan hiếm ngày càng tăng của một số nguyên liệu sẽ làm gia tăng áp lực đòi hỏi việc sản xuất phải sử dụng hiệu quả vật liệu, nước và năng lượng. Việc tích lũy liên tục vốn nhân lực, có xu hướng tăng lên trong nhiều thập kỷ ở nhiều quốc gia, có thể hỗ trợ sản xuất hàng hóa ngày càng sử dụng nhiều tri thức. Nhân khẩu học sẽ ảnh hưởng đến sản phẩm nào mà người tiêu dùng có nhu cầu nhiều nhất cũng như địa điểm sản xuất, trong khi nhiều yếu tố khác cũng có thể ảnh hưởng đến địa điểm sản xuất, từ sự bất ổn chính trị ở một số nơi trên thế giới cho đến mô hình thời tiết.

Tổng luận "Công nghiệp chế tạo trong cách mạng 4.0" cung cấp nền tảng cho nghiên cứu rộng hơn về năng suất và sự chuyển đổi kinh tế của các quốc gia, đồng thời phác họa các nhánh kinh tế cũng như chính sách của một tập hợp các công nghệ có khả năng sẽ làm thay đổi mạnh mẽ phương thức sản xuất trong ngắn hạn (tới 2030). Nhiều xu hướng kinh tế và chính sách cũng sẽ ảnh hưởng tới sản xuất trong cùng giai đoạn đó, từ già hóa dân số cho tới chính sách thương mại. Tổng luận cũng nhấn mạnh tầm quan trọng của một số lĩnh vực hành động của chính phủ, không chỉ các phân tích kinh tế vi mô về năng suất và tăng trưởng mà còn bao gồm các quyết định về thành phần hỗ trợ công cho nghiên cứu và phát triển cũng như cách lựa chọn phân bổ có thể làm gia tăng tác động và hiệu quả của các công nghệ mới nổi; thiết kế và tái cung cấp nguồn lực, và các số liệu về hiệu suất được sử dụng cho các tổ chức phổ biến công nghệ.

Xin trân trọng giới thiệu.

CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

I. NĂNG SUẤT VÀ CÁC CÔNG NGHỆ CỦA CÔNG NGHIỆP CHẾ TẠO 4.0

1.1. Giới thiệu

Đổi mới sáng tạo và năng suất dài hạn có mối quan hệ chặt chẽ với nhau. Ngày nay, gia tăng tốc độ tăng trưởng kinh tế là ưu tiên hàng đầu của hầu hết các chính phủ. Về lâu dài, dân số trong độ tuổi lao động bị giảm sút, kết hợp với những hạn chế về môi trường, có nghĩa là trong tương lai, tăng trưởng ở một số nền kinh tế sẽ ngày càng phụ thuộc vào đổi mới sáng tạo để nâng cao năng suất.

Một số nhà bình luận nổi tiếng, cả khu vực hàn lâm và công nghiệp, cho rằng tăng trưởng năng suất kém phản ánh sự gián đoạn của đổi mới sáng tạo nói chung. Những người bi quan về công nghệ cho rằng tiến trình đổi mới sẽ chậm lại vì chi phí đổi mới tăng lên khi khoa học và công nghệ phát triển. Ngược lại, những người lạc quan về công nghệ lại lập luận rằng công nghệ kỹ thuật số và các công nghệ mới khác sẽ làm tăng năng suất, thường theo những cách không lường trước được và lịch sử kinh tế cho thấy tiến bộ công nghệ thậm chí có thể tăng nhanh (Mokyr, 2014). Những người lạc quan về công nghệ cũng nhấn mạnh rằng các đo lường tăng trưởng kinh tế chính thống không đánh giá hết sự tiến bộ công nghệ. Ví dụ, các cơ quan thống kê quốc gia thường không thu thập thông tin về việc sử dụng các ứng dụng di động, hoặc khai thuế điện tử hoặc chi tiêu của doanh nghiệp vào các cơ sở dữ liệu (Mandel, 2012), trong khi số người tiêu dùng được tạo ra bởi hàng trăm sản phẩm kỹ thuật số mới lại không có trong dữ liệu chính thức.

Các công nghệ mới nổi ảnh hưởng đến năng suất thông qua nhiều kênh

Các công nghệ sản xuất mới nổi sẽ ảnh hưởng đến năng suất thông qua nhiều cách. Ví dụ:

• Sự kết hợp của các cảm biến và bộ truyền động mới, phân tích dữ liệu, điện toán đám mây và Internet vạn vật cho phép hệ thống và máy móc ngày càng thông minh và tự hành hơn.

• Các hệ thống thông minh gần như có thể loại bỏ hoàn toàn lỗi trong một số quy trình sản xuất (vì cảm biến cho phép giám sát mọi sản phẩm, thay vì phải kiểm tra lỗi ngẫu nhiên trong các mẫu được lấy ra từ các lô hàng). Thời gian ngừng hoạt động của máy và chi phí sửa chữa có thể giảm đáng kể khi các hệ thống thông minh dự đoán được thời gian cần bảo trì. Các quy trình công nghiệp có thể được mô phỏng trước khi được xây dựng cũng có khả năng đem lại một khoản tiết kiệm chi phí đầu tư. Các chuỗi cung ứng dựa vào dữ liệu làm giảm đáng kể thời gian phân phối hàng hóa. Và sản xuất có thể được thiết lập để đáp ứng nhu cầu thực tế thay vì nhu cầu dự kiến, làm giảm lượng hàng tồn kho.

• Việc sử dụng các robot có thao tác nhanh hơn, khỏe hơn, chính xác và nhất quán hơn người công nhân đã làm cho năng suất của các dây chuyền lắp ráp trong ngành công nghiệp ô tô tăng lên rất nhiều. Các robot cũng sẽ làm tăng năng suất của nhiều ngành và quy trình khi robot công nghiệp tiến bộ hơn.

• Sự kết hợp ngành công nghệ sinh học công nghiệp với hóa học tiên tiến có thể làm tăng hiệu quả của quá trình xử lý sinh học (hầu hết các quá trình sinh học có năng suất thấp).

• Bằng cách in các hệ thống cơ khí được lắp ráp sẵn, in 3D có thể loại bỏ việc lắp ráp trong một số giai đoạn sản xuất.

• Tiến bộ trong khoa học vật liệu và tính toán sẽ cho phép phát triển các loại vật liệu mới dựa vào mô phỏng. Điều này làm giảm thời gian và chi phí khi các công ty ít phải tiến hành những phân tích lặp lại.

• Công nghệ nano có thể làm cho nhựa dẫn điện. Trong ngành công nghiệp ô tô, điều này có thể loại bỏ sự cần thiết của quy trình phun sơn riêng cho nhựa, giảm chi phí 100 USD cho mỗi xe.

Hộp 1.1. Tác động của tăng năng suất

Bằng chứng về các tác động của năng suất do ứng dụng các công nghệ sản xuất mới chủ yếu được rút ra từ các nghiên cứu công nghệ đặc thù và của các doanh nghiệp. Những nghiên cứu này cho thấy tác động của năng suất có tiềm năng lớn. Tuy nhiên, bằng cách cảnh báo, những nghiên cứu này theo nhiều phương pháp tiếp cận khác nhau và thường báo cáo kết quả chỉ từ một số đối tượng ứng dụng công nghệ sớm:

• Ở Hoa Kỳ, sản lượng và năng suất trong các công ty áp dụng việc ra quyết định dựa vào dữ liệu cao hơn 5 - 6% so với kỳ vọng do các công ty này đầu tư vào công nghệ thông tin và truyền thông (CNTT - TT) (Brynjolfsson, Hitt và Kim, 2011).

• Cải thiện chất lượng và truy cập dữ liệu tới 10% - trình bày dữ liệu chính xác và nhất quán trên các nền tảng và cho phép chúng dễ dàng thao tác hơn - dẫn đến tăng năng suất lao động trung bình 14%, nhưng có sự khác nhau đáng kể giữa các ngành công nghiệp (Barua, Mani và Mukherjee, 2013).

• Internet vạn vật giảm trung bình 18% chi phí cho những doanh nghiệp ứng dụng trong ngành công nghiệp (Vodafone, 2015).

• Các xe vận chuyển khoáng sản tự động, trong một số trưởng hợp, có thể làm tăng sản lượng từ 15 - 20%, tiêu thụ nhiên liệu ít hơn từ 10 - 15% và giảm 8% chi phí bảo trì (Citigroup-Oxford Martin School, 2015).

• Các giàn khoan tự động có thể tăng năng suất từ 30 - 60% (Citigroup-Oxford Martin School, 2015).

• Kho hàng được trang bị robot do Kiva Systems sản xuất có thể xử lý số lượng đơn đặt hàng gấp 4 lần so với kho không được tự động hóa (Rotman, 2013).

• Trung tâm dữ liệu của Google sử dụng khoảng 0,01% lượng điện năng của thế giới. Vào tháng 7 năm 2016, DeepMind - Hãng dẫn đầu trong lĩnh vực trí tuệ nhân tạo - đã sử dụng trí tuệ nhân tạo để tối ưu hóa việc làm mát các trung tâm dữ liệu, giúp cắt giảm mức tiêu thụ năng lượng tới 40% và giảm chi phí đáng kể.

Bằng cách nâng cao năng suất, các công nghệ mới cũng có thể cải thiện hiệu suất tài chính cho những doanh nghiệp ứng dụng chúng. Một nghiên cứu trường hợp đã chỉ ra rằng, bằng cách phát triển năng lực phân tích dữ liệu và trí tuệ nhân tạo đáng kể, nhà sản xuất ô tô hàng đầu Hoa Kỳ đã tiết kiệm khoảng 2 tỷ USD trong 5 năm (2011 - 2015). Hiệu quả bảo trì trong ngành công nghiệp hàng không tăng 1% nhờ Internet công nghiệp, có thể tiết kiệm cho các hãng hàng không thương mại trên toàn cầu khoảng 2 tỷ USD mỗi năm (Evans và Anninziata, 2012).

Nhưng còn nhiều tiềm năng chưa được khai thác để tăng năng suất…

Những công nghệ được xem xét ở đây sẽ còn góp phần làm tăng năng suất nhiều hơn nữa so với hiện nay. Thông thường, những công nghệ này chủ yếu được sử dụng trong các công ty. Ngay cả trong các công ty này, nhiều ứng dụng tiềm năng vẫn chưa được sử dụng. Các cơ hội chưa được khai thác tồn tại trong toàn ngành công nghiệp. Ví dụ, robot có thể cải thiện hoạt động hậu cần và giảm giá thực phẩm và hàng hóa khác xuống vài phần trăm (CCA/CCR, 2009). Các nhà sản xuất nhận thấy các cơ hội chưa được khai thác cho tự động hóa trong các lĩnh vực cần ít hoặc nhiều kỹ năng, từ việc chế tạo các bộ phận, cho tới việc bốc xếp, đóng gói, đóng kiện và lắp ráp (Rigby, 2015).

…và có thể cần nhiều thời gian để tăng năng suất khi ứng dụng công nghệ mới

Quá khứ đã chứng kiến sự lạc quan thái quá về khung thời gian để ứng dụng của một số công nghệ công nghiệp. Đôi khi, như với công nghệ nano, điều này phần nào phản ánh việc tính toán sai những thách thức về kỹ thuật. Về mặt ứng dụng, các CNTT - TT tiên tiến vẫn chưa được khai thác hết tiềm năng. Chẳng hạn, điện toán đám mây được thương mại hóa lần đầu tiên vào những năm 1990, nhưng vẫn chỉ được áp dụng bởi không đến 1/4 số doanh nghiệp ở các nước OECD. Và sự sẵn có của một công nghệ là chưa phải là điều kiện đủ để tiếp nhận và sử dụng thành công công nghệ này. Việc hiện thực hóa được những lợi ích của một công nghệ thường đòi hỏi phải nó phải được tích hợp với các khoản đầu tư bổ

sung như kỹ năng và hình thức tổ chức mới, các mô hình kinh doanh mới thích ứng tốt hơn để mang lại kênh doanh thu cho các nhà đổi mới.

1.2. Công việc, tự động hóa và các công nghệ sản xuất mới

Các nhà hoạch định chính sách cấp cao và các chủ doanh nghiệp gần đây đã bày tỏ những quan ngại ngày càng tăng về những ảnh hưởng đến việc làm mà các công nghệ số mang lại. Ví dụ, năm 2014, cựu Bộ trưởng Tài chính Hoa Kỳ, Lawrence Summers, đã lập luận rằng số lượng công việc hạn chế sẽ là thách thức kinh tế sắp tới. Một cuộc khảo sát các chuyên gia công nghệ ở Hoa Kỳ gần đây cho thấy 48% số người được hỏi lo ngại rằng các công nghệ kỹ thuật số sẽ dẫn đến tình trạng thất nghiệp lan rộng (PEW Foundation, 2014). Mọi người cũng lo ngại rằng các công nghệ kỹ thuật số có thể làm thay đổi bản chất tự nhiên của thị trường lao động - ví dụ thông qua sự gia tăng lực lượng lao động cộng đồng (crowd-sourced workforce)[1] - gây bất lợi cho một số công nhân.

Sự tiến bộ trong điện toán đang đem lại những năng lực mới cho máy móc…

Kể từ thời kỳ tính toán bằng tay và phụ thuộc vào số liệu được sử dụng, chi phí cho tính toán sử dụng máy tính đã giảm tới 76 nghìn tỷ lần. Hầu hết sự suy giảm này diễn ra từ năm 1980 (Nordhaus, 2007). Tiến bộ đó cho phép phát triển một số chức năng của máy cạnh tranh với hiệu suất của con người, ngay cả trong các nhiệm vụ mà từ lâu con người được cho là có lợi thế vĩnh viễn về nhận thức so với máy móc (Elliott, 2014).

…và phạm vi và tỷ lệ tự động hóa gia tăng

Hầu hết các nhiệm vụ đơn điệu trong hoạt động sản xuất hiện nay được tự động hóa ở các nước OECD. Xe chuyển hàng hoá và xe tải nâng chuyển hàng hoá ngày càng được máy tính hóa. Nhiều kho hàng bán tự động được trang bị các robot nhanh và khéo léo. Hầu như những khía cạnh phức tạp trong công việc của các kỹ sư phần mềm đều có thể được các thuật toán thực hiện (Hoos, 2012). Phần mềm có thể tạo ra những thiết kế công nghiệp phức tạp và mới lạ. Chương trình Quill viết được các báo cáo kinh doanh và phân tích. Các nhà quản lý dựa vào máy tính đang được thử nghiệm. Các phần mềm gần đây có thể truyền đạt chính xác một số cảm xúc của con người, tạo ra các hình thức tương tác mới giữa người - máy. Và các xe tự hành có thể sớm thay thế cho số lượng lớn lái xe thương mại.

Tự động hóa góp phần vào sự phân cực việc làm

Trong những thập kỷ gần đây, tỷ trọng việc làm có thu nhập cao và thu nhập thấp tăng lên ở thị trường lao động của các nước phát triển, trong khi tỷ trọng việc làm có thu

[1] Crowdsourcing là hình thức huy động cộng đồng hoặc một nhóm người thực hiện một công việc.

nhập trung bình giảm. Sự phân cực này có liên quan đến tỷ trọng việc làm giảm trong các ngành nghề liên quan đến những công việc đơn điệu (nghĩa là các nhiệm vụ dễ dàng được mô tả bằng mã máy tính). Do các nhiệm vụ thủ công trong nhiều ngành nghề dịch vụ ít bị ảnh hưởng bởi mã hóa máy tính, tự động hóa cũng góp phần vào sự dịch chuyển việc làm từ các công việc sản xuất có thu nhập trung bình sang các công việc dịch vụ thu nhập thấp (Autor và Dorn, 2013).

Những công nghệ mới cũng tạo ra việc làm thông qua nhiều kênh

Việc tăng năng suất nhờ công nghệ mang lại ích cho nền kinh tế thông qua một hoặc nhiều kênh sau: Giá sản phẩm đầu ra thấp hơn, lương công nhân cao hơn, hoặc lợi nhuận cao hơn. Giá thành sản phẩm đầu ra thấp hơn làm tăng thu nhập thực tế của người tiêu dùng. Điều này làm tăng nhu cầu đối với hàng hóa hoặc các dịch vụ khác. Và lương công nhân cao hơn làm tăng nhu cầu và tạo việc làm trong các thị trường khác. Lợi nhuận cao hơn được phân bổ cho các cổ đông, những người dành tất cả hoặc một phần thu nhập mới này, bổ sung thêm vào tổng cầu[2]. Ngay cả khi các cổ đông và người lao động tiết kiệm khoản thu nhập tăng thêm của họ, thì nền kinh tế tổng thể vẫn có thể hưởng lợi (Miller và Atkinson, 2013). Việc các cổ đông và người lao động gia tăng tiết kiệm sẽ làm giảm lãi suất và tăng đầu tư, cuối cùng tạo ra việc làm (nếu các tổ chức tài chính làm trung gian hiệu quả giữa tiết kiệm và đầu tư)[3]. Tuy nhiên, sự cân nhắc quan trọng là khoảng thời gian mà các quy trình như vậy diễn ra. Sự cân bằng chung có tính cạnh tranh có thể được kỳ vọng về dài hạn. Nhưng về ngắn hạn, ví dụ: lợi nhuận có thể không được đầu tư do thiếu nhu cầu dự kiến và việc này có thể một phần do các mức lợi nhuận cao (làm giảm tiêu dùng).

Công nghệ nâng cao năng suất làm lợi cho nền kinh tế

Bằng chứng lịch sử là cực kỳ tích cực đối với các tác động của thay đổi công nghệ đối với toàn bộ thị trường kinh tế và lao động. Dưới đây là trích dẫn một số nghiên cứu quốc gia:

• Các khoản đầu tư vào CNTT-TT được ước tính đã làm tăng tổng nhu cầu lao động ở 19 quốc gia OECD trong giai đoạn 1990 - 2007 (nhưng đã giảm sau năm 2007). Đầu tư vào CNTT-TT dường như không có ảnh hưởng đến tổng nhu cầu lao động về lâu dài. Sự suy giảm vĩnh viễn chi phí vốn cho CNTT-TT làm giảm nhu cầu lao động theo từng đơn vị đầu ra, nhưng làm tăng đầu ra với tỷ lệ tương tự. Tuy nhiên, sự trung hòa tổng thể của việc làm đi kèm với sự dịch chuyển việc làm từ công việc sản xuất sang các hoạt động dịch vụ (OECD, 2016a).

---

[2] *Tổng cầu (aggregate demand - AD): Tổng số nhu cầu trong nền kinh tế về hàng hóa và dịch vụ cuối cùng sản xuất trong nước*

[3] *Việc làm cũng sẽ phát sinh trong các công ty sản xuất các loại thiết bị và máy móc mới.*

• Trong ngắn hạn, việc làm có thể giảm sau những cú sốc công nghệ làm tăng năng suất, nhưng nó sẽ tăng trưởng trở lại trong trung hạn (Basu, Fernald và Kimball, 2006). Những cú sốc công nghệ làm tăng cao năng suất làm giảm thất nghiệp trong vài năm (Trehan, 2003).

• Từ năm 1964 - 2013, trong bối cảnh tự động hóa gia tăng mạnh mẽ, nền kinh tế Hoa Kỳ đã tạo ra 74 triệu việc làm (Levy và Murnane, 2013).

• Ở Anh và xứ Wales, trong 1,5 thế kỷ, sự thay đổi công nghệ đã dẫn tới việc tạo ra việc làm về tổng thể (Stewart, Debapratim và Cole, 2014). Thời kỳ này chứng kiến sự giảm sút các việc làm đòi hỏi sức khỏe: giảm từ tỷ lệ 23,7% tổng số việc làm trong năm 1871, xuống còn 8,3% vào năm 2011. Nó cũng chứng kiến sự dịch chuyển việc làm đòi hỏi sự quan tâm và đồng cảm: tăng từ 1,1% tổng số việc làm trong năm 1871 lên 12,2% trong năm 2011. Các công việc đơn điệu chịu ảnh hưởng nhiều nhất.

Trong các doanh nghiệp và ngành công nghiệp, các tác động đến việc làm của sự thay đổi công nghệ nói chung là tích cực

Bằng chứng ở cấp độ các doanh nghiệp và ngành công nghiệp hầu hết cho thấy công nghệ cải thiện năng suất là lý do gây ra mất việc làm trong một số trường hợp và tăng việc làm trong những trường hợp khác (Miller và Atkinson, 2013). Nhưng một số doanh nghiệp và ngành công nghiệp đã có sự tăng trưởng việc làm vượt quá số lượng hợp đồng lao động được ký kết. Việc làm có khả năng gia tăng nhiều hơn sau những cú sốc công nghệ ở các doanh nghiệp hoạt động trong ngành công nghiệp với chi phí kho bãi thấp, nhu cầu và giá thành thay đổi linh hoạt (Chang, Hornstein và Sarte, 2009).

Nhưng việc điều chỉnh có thể khó khăn

Cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ nhất đã mang lại những cải thiện chưa từng có về tiêu chuẩn sống. Nhưng đối với nhiều công nhân thì cuộc cách mạng này mang lại những khó khăn nhất định. Quả thực, sự dịch chuyển sang tiêu chuẩn sống cao hơn mức trung bình đã phải mất nhiều thập kỷ, thường dài hơn so với thời gian làm việc thông thường (Mokyr, Vickers, 2015).

Khó khăn có thể ảnh hưởng đến nhiều người nếu sự thay thế lao động nhanh xảy ra trong một lĩnh vực chính, hoặc đồng thời ở một số lĩnh vực. Công nghệ "xe tự hành" có thể là một trường hợp. Tổng cộng, có tới hơn 3 triệu người làm nghề lái xe thương mại tại 15 quốc gia thuộc EU. Việc loại bỏ bất ngờ nhu cầu đối với lái xe có thể tạo ra một cú sốc đặc biệt trên thị trường lao động. Tuy nhiên, khả năng các tiến bộ công nghệ chủ chốt đạt được đồng thời trong nhiều lĩnh vực là thấp. Và ngay cả trong một lĩnh vực, dự kiến tác động đến việc làm của công nghệ mới không phải lúc nào cũng trực tiếp. Chẳng hạn, những chiếc xe tự hành không thể thay thế cho tất cả công việc mà người lái xe thực hiện. Nhiều tài xế giao hàng phải tương tác với khách hàng theo những cách mà ngày nay máy móc không thể làm được (Markoff, 2015a).

Mặc dù các công nghệ mới mang lại việc làm, tuy nhiên sẽ khó xác định được rõ ràng nơi nào và loại hình việc làm mà các công nghệ này mang lại

Những loại hình việc làm cụ thể do công nghệ mới mang lại thường khó dự đoán. Ví dụ, sau khi máy tính ra đời vào đầu những năm 1980, hơn 1.500 việc làm mới đã xuất hiện trên thị trường lao động Hoa Kỳ, từ nhà thiết kế web đến quản trị viên cơ sở dữ liệu. Các công nghệ mới cũng có thể ảnh hưởng đến việc làm theo những cách rất gián tiếp và bất ngờ mà không dự đoán được. Chẳng hạn Toyota đã quyết định đưa công nhân trở lại sản xuất sau khi nhận ra rằng người thợ thủ công cũng có vai trò trong cải thiện quy trình sản xuất, điều mà robot không làm được (Markoff, 2015b).

Những giới hạn trong phạm vi tự động hóa

Mặc dù tự động hóa đang tiến bộ nhanh chóng, nhưng việc thay thế máy móc cho công nhân vẫn có những hạn chế. Frey và Ostern (2013) xác định ba loại năng lực lớn trong đó thiết bị được máy tính kiểm soát khó có thể vượt qua người công nhân trong ngắn hạn: Trí tuệ sáng tạo, trí tuệ xã hội (ví dụ, được thực hiện trong các ngành nghề chăm sóc); nhận thức và thao tác (ví dụ, như yêu cầu trong các công việc xử lý trong các môi trường phi cấu trúc hoặc biến đổi). Cuối cùng là cảm nhận chung, một thuộc tính khó xác định rất cần thiết cho hầu hết công việc, cũng rất khó để sao chép.

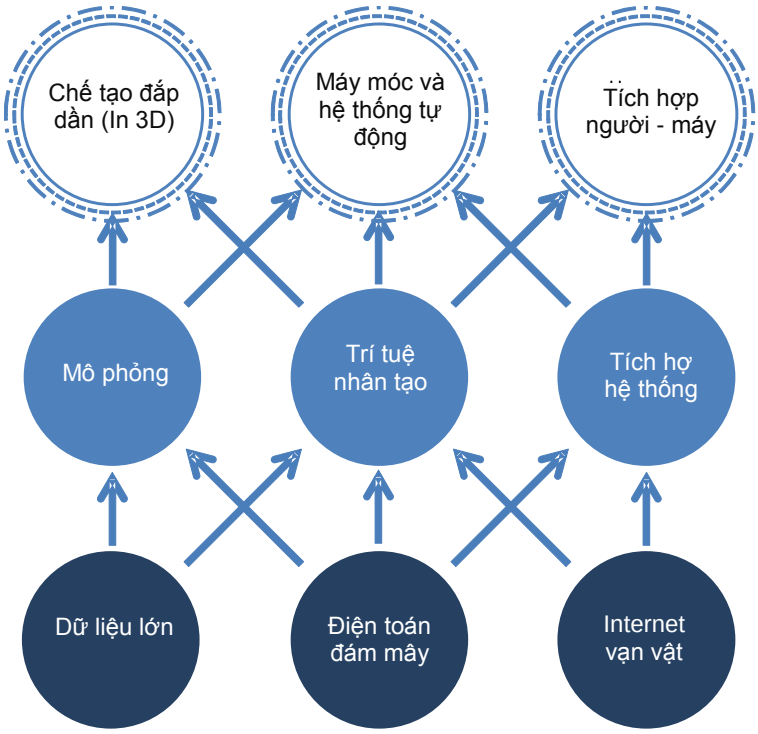
Các nhà hoạch định chính sách cần theo dõi và chuẩn bị để điều chỉnh các quá trình

Bằng chứng lịch sử cho thấy rằng các công nghệ làm tăng năng suất dẫn đến những điều chỉnh thị trường lao động ở các mức thu nhập cao hơn. Việc điều chỉnh như vậy có thể có tính phá hủy cao, mặc dù chưa xác định chính xác tốc độ và phạm vi của các điều chỉnh không thể tránh khỏi trong tương lai. Có thể lao động sẽ bị thay thế về quy mô và với tốc độ chưa từng thấy trước đây, hay robot sẽ khiến phân phối thu nhập trở nên bất bình đẳng hơn rất nhiều so với hiện nay và thị trường tiền lương của những người không có kỹ năng sẽ giảm xuống dưới các mức xã hội chấp nhận được. Các nhà hoạch định chính sách cần theo dõi và chuẩn bị cho những khả năng như vậy.

1.3. Công nghệ số và sản xuất trong tương lai

Sự hội tụ của các công nghệ khác nhau đang thúc đẩy sự chuyển đổi kỹ thuật số của ngành công nghiệp

Hai xu hướng làm cho các công nghệ kỹ thuật số biến đổi sản xuất: (i) chi phí giảm, cho phép phổ biến rộng hơn; và quan trọng nhất là, (ii) sự kết hợp của các CNTT-TT khác nhau và sự hội tụ của chúng với các công nghệ khác (đặc biệt là nhờ phần mềm tích hợp và Internet vạn vật). Hình 1.1 mô tả các CNTT-TT chính đang cho phép chuyển đổi kỹ thuật số các quy trình công nghiệp.



Hình 1.1. Sự hợp lưu của các công nghệ số then chốt thúc đẩy sự chuyển đổi số trong công nghiệp

Các công nghệ ở phía dưới Hình 1.1 tạo khả năng thực hiện cho những công nghệ phía trên, như hướng các mũi tên. Những công nghệ ở phần trên của Hình 1.1 - bao gồm chế tạo đắp dần (in 3D), máy móc và hệ thống tự hành, tích hợp người-máy - là những ứng dụng mà qua đó có khả năng tạo ra các hiệu ứng chính của năng suất trong công nghiệp. Việc sử dụng các công nghệ ở phía trên trong công nghiệp đã được mô tả theo nhiều thuật ngữ khác nhau, như "Công nghiệp 4.0", "Internet công nghiệp" và "chế tạo kết nối mạng".

Đổi mới dựa vào dữ liệu đang làm thay đổi tất cả các lĩnh vực của nền kinh tế

Thuật ngữ "dữ liệu lớn" đề cập đến dữ liệu được đặc trưng bởi số lượng, tốc độ (tốc độ chúng được tạo ra, truy cập, xử lý và phân tích) và sự đa dạng (như dữ liệu có cấu trúc và không có cấu trúc). Dữ liệu lớn hứa hẹn sẽ cải thiện đáng kể các sản phẩm, quy trình, phương pháp tổ chức và thị trường, một hiện tượng được gọi là đổi mới sáng tạo do dữ liệu (Data-driven Innovation - DDI). Các nghiên cứu ở cấp độ doanh nghiệp cho thấy DDI có thể làm tăng năng suất lao động từ 5 - 10% so với những doanh nghiệp không sử dụng DDI (OECD, 2015a). DDI sẽ tác động đến sản xuất và năng suất trong các ngành dịch vụ, chế tạo và nông nghiệp.

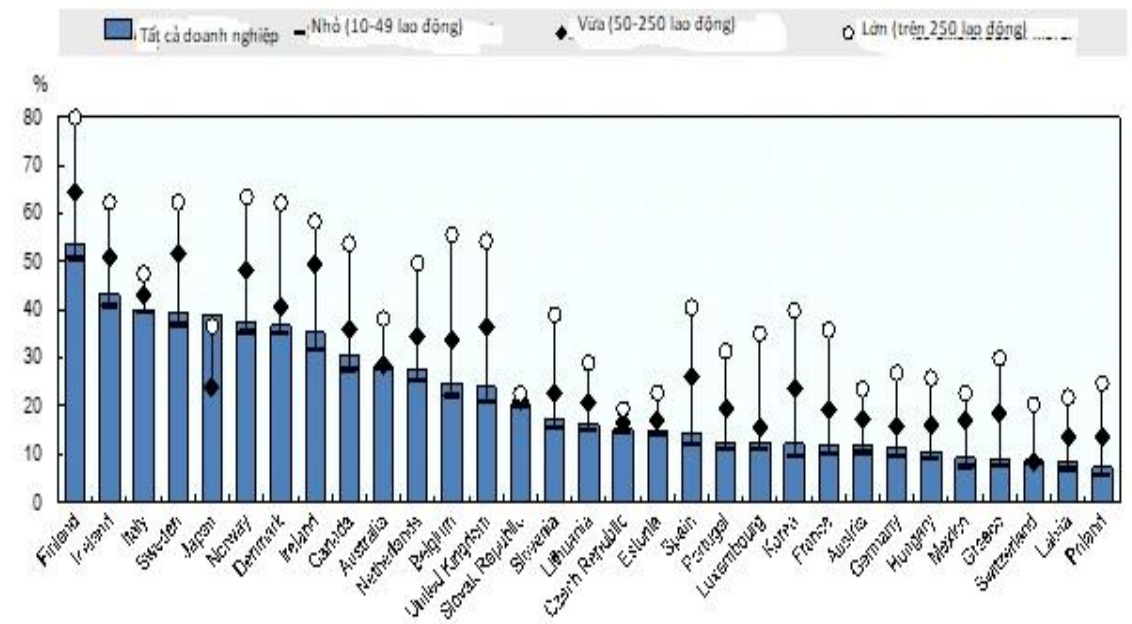
Công nghệ kỹ thuật số cũng làm cho công nghiệp hướng dịch vụ nhiều hơn

Vào những năm 1980, Rolls Royce bắt đầu bán "công suất", một sự phát triển có được nhờ vào khả năng của CNTT-TT. Ngày nay, Internet vạn vật cho phép các công ty sản xuất giám sát việc sử dụng thực tế hàng hóa của họ và do đó cung cấp các dịch vụ tùy chỉnh trả tiền theo mức độ sử dụng (pay-as-you-go). Các dịch vụ này được định giá trên cơ sở dữ liệu hoạt động theo thời gian thực. Ví dụ, các nhà chế tạo thiết bị sản xuất năng lượng ngày càng sử dụng dữ liệu cảm biến để giúp khách hàng tối ưu hóa việc lập kế hoạch cho các dự án phức tạp.

Điện toán đám mây tăng cường sự linh hoạt, khả năng mở rộng phạm vi và sự tương tác

Điện toán đám mây cho phép các tài nguyên điện toán được truy cập theo cách thức linh hoạt theo yêu cầu với chi phí quản lý thấp. Nhiều ứng dụng CNTT-TT công nghiệp tiềm năng cao, như máy móc và hệ thống tự điều khiển, và mô phỏng phức tạp, sử dụng nhiều tính toán và đòi hỏi các siêu máy tính. Đặc biệt đối với các công ty khởi nghiệp và doanh nghiệp vừa và nhỏ (DNNVV), điện toán đám mây đã làm tăng tính sẵn sàng, năng lực và khả năng chi trả cho các tài nguyên điện toán.

Tuy nhiên có sự khác biệt đáng kể giữa các quốc gia và các công ty trong việc áp dụng điện toán đám mây (Hình 1.2). Ngoài ra còn có sự khác biệt lớn trong việc sử dụng theo quy mô kinh doanh, với các doanh nghiệp lớn hơn có nhiều khả năng sử dụng điện toán đám mây hơn.



Hình 1.2. *Tỷ lệ phần trăm các doanh nghiệp sử dụng dịch vụ điện toán đám mây theo quy mô việc làm (2014)*

Nguồn: OECD (2017b), Stat, database

Internet vạn vật sẽ mang lại sự thay đổi căn bản

Thuật ngữ "Internet vạn vật" dùng để chỉ sự kết nối của các thiết bị và các đối tượng với mạng Internet. Nhờ các cảm biến và bộ truyền động mới và kết hợp với phân tích dữ liệu lớn và điện toán đám mây, Internet vạn vật cho phép máy móc và các hệ thống thông minh tự điều khiển. Internet vạn vật có thể cải thiện hiệu quả các quy trình, dịch vụ khách hàng, tốc độ ra quyết định, tính nhất quán trong phân phối và tính minh bạch/khả năng dự báo trước các chi phí. Internet vạn vật cũng sẽ mang lại lợi ích kinh tế và xã hội lớn không trực tiếp liên quan đến sản xuất, ví dụ như hiệu quả của y tế và giao thông.

Hộp 1.2. Thúc đẩy đầu tư và sử dụng CNTT-TT và dữ liệu

Các chính phủ muốn thúc đẩy việc cung ứng các CNTT-TT chủ chốt nên cân nhắc hỗ trợ đầu tư vào NC&PT để thúc đẩy các công nghệ như phân tích dữ liệu lớn, điện toán đám mây và điện toán hiệu năng cao, Internet vạn vật, cũng như các công nghệ cải thiện an toàn và tính riêng tư. Ví dụ, thông qua Chiến lược Kinh tế kỹ thuật số quốc gia 2014, Canada dự kiến đầu tư 15 triệu đô la Canada (CAD) trong 3 năm để hỗ trợ nghiên cứu hàng đầu và thương mại hóa các công nghệ lượng tử.

Các chính phủ nên cân nhắc việc sử dụng các chính sách trọng cầu để khuyến khích đầu tư và ứng dụng các CNTT-TT chủ chốt, đặc biệt là các DNNVV. Điều này có thể được thực hiện thông qua các hoạt động như nâng cao nhận thức, đào tạo, cố vấn và các chương trình phiếu ưu đãi (voucher). Các chính sách trọng cầu cũng cần bổ sung cho những chính sách trọng cung CNTT-TT (đang có). Ví dụ, ở Đức, các chính sách hỗ trợ đầu tư vào NC&PT liên quan đến ứng dụng CNTT-TT công nghiệp, nghiên cứu an toàn CNTT, vi điện tử và dịch vụ kỹ thuật số, được bổ sung bằng các chính sách trọng cầu như nâng cao nhận thức và đào tạo (ví dụ thông qua hai Trung tâm Giải pháp dữ liệu lớn được thành lập tại Berlin và Dresden). Chính phủ Đức cũng đã tập hợp được hơn 260 ví dụ về các dự án *"Công nghiệp 4.0"* thành công vào trong một bản đồ tương tác trực tuyến.

Các chính phủ nên khuyến khích đầu tư vào việc thu thập, xử lý, sử dụng lại và liên kết dữ liệu, với trọng tâm vào dữ liệu có sức lan tỏa tích cực khắp các ngành công nghiệp và có giá trị xã hội cao hơn giá trị cá nhân. Để giải quyết sự phân phối lợi nhuận thấp đối với việc chia sẻ dữ liệu, các chính phủ nên cân nhắc sử dụng kết hợp quyền sở hữu trí tuệ, li-xăng và các cơ chế ưu đãi thay thế đan xen, như trích dẫn dữ liệu và biếu tặng dữ liệu.

Điều quan trọng là phải thúc đẩy các tiêu chuẩn mở, bao gồm trong các giao diện lập trình ứng dụng và định dạng dữ liệu. Các tiêu chuẩn dựa vào các mô hình tham chiếu

mở về công nghệ và có lợi cho cạnh tranh có thể thúc đẩy tính tương hợp dữ liệu và sử dụng lại, và các dịch vụ kỹ thuật số, và giảm sự mắc kẹt công nghệ, đồng thời cải thiện sự cạnh tranh giữa các nhà cung cấp dịch vụ. Ví dụ, phát triển các tiêu chuẩn cấp quốc tế là một phần quan trọng của Chiến lược Kinh tế thông tin của Vương quốc Anh.

Dữ liệu và các dịch vụ kỹ thuật số được giao dịch và sử dụng ngày càng gia tăng liên ngành và xuyên quốc gia

Các công ty ngày càng phân chia rõ các quy trình kỹ thuật số của họ - máy chủ, lưu trữ và xử lý - ở nhiều quốc gia. Các quốc gia đều phụ thuộc lẫn nhau rất lớn trong các luồng dữ liệu. Những quốc gia cung cấp dịch vụ kỹ thuật số lớn có thể cũng là điểm đến chính cho các luồng dữ liệu xuyên quốc gia (từ đó tạo ra các dịch vụ số). Ngược lại, các quốc gia nắm giữ số người sử dụng chính các dịch vụ liên quan đến CNTT-TT thường là nguồn dữ liệu chính làm cơ sở cho các dịch vụ đó.

Cần giảm các rào cản đối với việc phổ biến, khả năng tương tác và các tiêu chuẩn về CNTT-TT

Việc số hóa sản xuất đòi hỏi sự phổ biến và sử dụng các CNTT-TT chủ chốt. Tuy nhiên, nhiều doanh nghiệp, và đặc biệt là các DNNVV, tụt hậu trong việc ứng dụng CNTT-TT. Ví dụ, việc áp dụng các ứng dụng quản lý chuỗi cung ứng, lập kế hoạch nguồn lực của doanh nghiệp và nhận diện tần số vô tuyến (RFID) của các công ty vẫn còn thấp hơn nhiều so với các mạng hoặc trang web băng thông rộng. Trong khi chính những CNTT-TT tiên tiến này cho phép số hoá quy trình sản xuất công nghiệp.

Một khía cạnh quan trọng của khả năng tương tác đối với Internet vạn vật là các chính sách nhận diện và đánh số. Vấn đề đảm bảo thu hút sự chú ý đặc biệt của các chính phủ và cơ quan quản lý là tự do hóa quyền truy cập tới các số nhận diện thuê bao di động quốc tế (International Mobile Subscriber Identity - IMSI). Số IMSI cho phép các lĩnh vực khác nhau của nền kinh tế, chẳng hạn như các nhà sản xuất ô tô và các công ty năng lượng, có quyền truy cập vào thẻ SIM mà không bắt buộc phải thông qua các nhà khai thác di động. Điều này sẽ cung cấp cho những khu vực này sự linh hoạt hơn khi chọn một mạng di động nhất định và dễ dàng triển khai Internet vạn vật xuyên biên giới. Hà Lan là quốc gia đầu tiên tự do hóa việc truy cập tới số IMSI.

Hộp 1.3. Hỗ trợ phát triển kỹ năng và năng lực để số hoá sản xuất

Các hệ thống giáo dục quốc gia, cùng với các nghiệp đoàn và doanh nghiệp, cần hỗ trợ phát triển các kỹ năng liên quan đến CNTT-TT, bắt đầu với kỹ năng CNTT-TT cơ

bản và bao gồm các kỹ năng về dữ liệu chuyên nghiệp. Các nhu cầu giáo dục mở rộng vượt ra ngoài lĩnh vực CNTT-TT bao gồm khoa học, công nghệ, kỹ thuật và toán học (STEM). Điều này đòi hỏi phải có các biện pháp để: (i) thúc đẩy hiểu biết về kỹ thuật số trong trường học; (ii) tiếp tục phát triển dạy nghề và đào tạo tại chỗ; và (iii) các lĩnh vực giáo dục liên thông, ví dụ thông qua việc thiết lập các liên minh chiến lược giữa các trường đại học và doanh nghiệp.

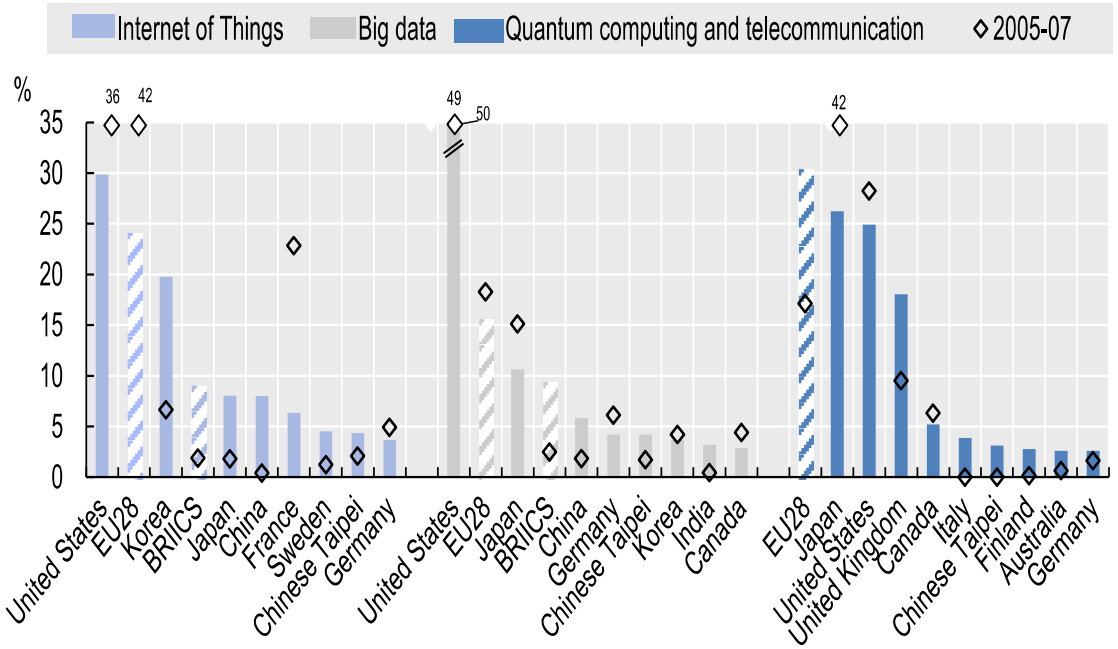
Các kỹ năng kỹ thuật là không đủ. Các kỹ năng kỹ thuật cần được bổ sung bí quyết trong các vấn đề đặc thù (bao gồm kiến thức về các quy trình sản xuất) cũng như "các kỹ năng mềm" như truyền thông, tự định hướng, tư duy sáng tạo và giải quyết vấn đề. Nhu cầu về các kỹ năng phi kỹ thuật như vậy sẽ tiếp tục tăng lên khi sự phổ biến các công nghệ kỹ thuật số và các mô hình kinh doanh mới thay đổi cách thức thực hiện công việc. Nhất là đối với các nhóm kỹ năng thấp, việc có được các kỹ năng này đặc biệt quan trọng trong việc đối phó với sự đổ vỡ của các ngành công nghiệp hiện có. Các doanh nghiệp và các đối tác xã hội của họ cũng có vai trò quan trọng, ví dụ như trong việc điều chỉnh việc phát triển kỹ năng phù hợp với nhu cầu thực tế.

Số hóa sản xuất công nghiệp đòi hỏi NC&PT trong các lĩnh vực như Internet vạn vật, phân tích dữ liệu điện toán

Các quốc gia có khả năng nghiên cứu mạnh hơn về Internet vạn vật, phân tích dữ liệu và điện toán được hưởng ưu thế của người đi trước từ việc số hóa ngành công nghiệp. Hiện tại, việc phát triển các công nghệ liên quan đến DDI chỉ tập trung ở một vài nền kinh tế (Hình 1.3).

Trách nhiệm giải trình, tính minh bạch và quyền sở hữu

Phân tích dữ liệu dẫn đến những phương thức mới để đưa ra quyết định. Điều này có thể giúp nâng cao năng suất. Nhưng vì nhiều lý do, việc ra quyết định dựa vào dữ liệu và trí tuệ nhân tạo có chủ ý và không có chủ ý cũng có thể có sai sót. Ví dụ, các hành vi không lường trước trong các hệ thống giao dịch thuật toán đôi khi dẫn đến thiệt hại tài chính đáng kể, chẳng hạn như Tập đoàn Knight Capital mất 440 triệu USD vào năm 2012. Rủi ro trong việc ra các quyết định sai lầm đặt ra câu hỏi về cách phân định trách nhiệm giữa những người ra quyết định, nhà cung cấp dữ liệu và các CNTT-TT (bao gồm cả phần mềm).



Hình 1.3. *Các quốc gia đi đầu về Internet vạn vật, các công nghệ dữ liệu lớn và điện toán lượng tử (2005-07 và 2010-12)*

Nguồn: OECD (2015c), OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2015

Tính riêng tư, bảo vệ người tiêu dùng, luật cạnh tranh và thuế: Những thách thức mới đối với việc điều chỉnh pháp luật

Các CNTT-TT mới có thể làm nảy sinh những mối quan ngại nghiêm trọng liên quan đến tính riêng tư, bảo vệ người tiêu dùng, cạnh tranh và thuế. Các khung pháp lý hiện tại có thể không phù hợp với một số thách thức mới đó.

Hộp 1.4. Giải quyết những rủi ro và sự không chắc chắn đang nổi lên

Các chính phủ cần hành động nếu sự không chắc chắn về pháp luật cản trở việc ứng dụng CNTT-TT. Điều này đặc biệt đúng nếu các quy định được thiết kế cho thời kỳ trước kỹ thuật số vô tình bảo vệ các hãng hiện hành khỏi các hình thức cạnh tranh mới. Ví dụ, việc loại bỏ các rào cản pháp lý để thâm nhập vào thị trường di động sẽ cho phép một số nhà chế tạo ô-tô với những chiếc xe chứa hàng triệu thiết bị kết nối, sẽ không phụ thuộc vào các nhà vận hành mạng di động. Điều này cũng sẽ làm tăng sự cạnh tranh.

Các Chính phủ nên hỗ trợ văn hóa quản lý rủi ro số (như được thúc đẩy bởi Khuyến nghị OECD 2015 về Quản lý rủi ro an ninh số cho sự thịnh vượng kinh tế và xã hội [OECD, 2015d]). Các cách tiếp cận truyền thống về bảo mật có thể không bảo vệ đúng cách các tài sản trong môi trường kỹ thuật số hiện hành và có khả năng kìm hãm đổi mới (OECD, 2016b). Các rào cản thông thường đối với văn hóa quản lý rủi ro kỹ thuật số trong các doanh nghiệp, đặc biệt là DNNVV, là thiếu bí quyết và hiểu sai rằng an toàn kỹ thuật số là một vấn đề quản lý kỹ thuật CNTT (chứ không phải là vấn đề quản lý kinh doanh). Để ứng phó với thách thức này, một số chính phủ đã ưu tiên việc nâng cao nhận thức, đào tạo và huấn luyện về quản lý rủi ro kỹ thuật số. Ví dụ, trong khuôn khổ chiến lược an ninh kỹ thuật số quốc gia của Pháp, Ban thư ký Nhà nước Pháp phụ trách Công nghệ số, cùng với các bộ và Cơ quan An ninh không gian mạng quốc gia (ANSSI), sẽ điều phối một chương trình nâng cao nhận thức về an ninh mạng cho các chuyên gia.

Các rào cản đối với tính mở, tính hợp pháp hay các vấn đề khác, có thể hạn chế các tác động của số hóa và đòi hỏi sự quan tâm chính sách**.** Các rào cản thường gặp bao gồm các điều kiện kỹ thuật, chẳng hạn như sàng lọc gói tài sản trí tuệ, được sử dụng để tối ưu hóa các dòng dữ liệu và các nỗ lực "bản địa hóa dữ liệu" (hoặc thông qua việc định tuyến theo lãnh thổ hay các nghĩa vụ pháp lý để định vị các máy chủ ở các thị trường địa phương). Những tác động hạn chế của các rào cản đối với tính mở của Internet đặc biệt nghiêm trọng ở các nền kinh tế có các dịch vụ dựa vào dữ liệu còn yếu do những yếu kém về cơ sở hạ tầng CNTT-TT. Tuy nhiên, tính mở có thể đặt ra những thách thức, ví dụ nếu nó được khai thác để tiến hành các hoạt động nguy hại. Các rào cản đối với tính mở của Internet tồn tại, từ các thực tiễn kinh doanh hoặc các chính sách của chính phủ do đó có thể có những lý do pháp lý hoặc an ninh. Các chính phủ muốn thúc đẩy thương mại dịch vụ kỹ thuật số nên xem xét Khuyến nghị về các nguyên tắc cho hoạch định chính sách Internet của Hội đồng OECD năm 2011 (OECD, 2011). Những nguyên tắc này nhằm bảo đảm tính mở cơ bản của Internet và dòng chảy tự do của thông tin.

Những trở ngại cho việc sử dụng lại, chia sẻ và liên kết dữ liệu có thể có nhiều hình thức và cần được cân nhắc**.** Các rào cản kỹ thuật có thể bao gồm các trở ngại như khả năng máy đọc được dữ liệu trên tất cả các nền tảng. Các rào cản pháp lý cũng có thể cản trở việc sử dụng lại và chia sẻ dữ liệu. Ví dụ, "các điều khoản về chứa dữ liệu" trong nhiều hợp đồng dịch vụ đôi khi có thể cản trở khách hàng chuyển sang các nhà cung cấp khác. Hơn nữa, quyền truy cập dữ liệu không phân biệt đối xử, bao gồm thông qua dữ liệu chung, dữ liệu mở và tính khả chuyển của dữ liệu, cho phép người dùng tạo giá trị từ dữ liệu theo các cách thường không thể thấy trước khi dữ liệu được tạo ra. Thay vì chọn

ra những người chiến thắng (những người sử dụng hoặc các ứng dụng), các chính phủ và doanh nghiệp có thể cung cấp quyền truy cập dữ liệu không phân biệt đối xử để cho phép người dùng phát hiện ra các ứng dụng triển vọng.

Cần phát triển khung quản trị dữ liệu nhất quán**.** Truy cập dữ liệu không nhất thiết phải tự do hoặc không kiểm soát: Cần có sự cân bằng giữa tính mở của dữ liệu (và các lợi ích xã hội của việc truy cập và sử dụng lại dữ liệu nhiều hơn) và những quan ngại chính đáng về tính riêng tư và các quyền sở hữu trí tuệ của một số người có thể bị ảnh hưởng tiêu cực. Điều này đòi hỏi một cách tiếp cận của toàn bộ chính phủ khi áp dụng và bắt buộc tuân thủ việc quản trị dữ liệu và khung quyền sở hữu trí tuệ.

Chính phủ có thể tìm cách thúc đẩy việc sử dụng có trách nhiệm dữ liệu cá nhân để ngăn chặn vi phạm tính riêng tư**.** Các chính phủ có thể thúc đẩy các công nghệ tăng cường tính riêng tư và trao quyền cho các cá nhân thông qua xử lý dữ liệu minh bạch và tính khả chuyển dữ liệu lớn hơn (ví dụ về các sáng kiến như vậy bao gồm MIDATA ở Vương quốc Anh và MesInfos ở Pháp). Chính phủ có thể cần phải tăng tính hiệu quả (như cách xoay sở và sự tinh thông kỹ thuật) của các cơ quan chức năng thực thi việc tuân thủ tính riêng tư. Các quy định bảo vệ dữ liệu cần đưa ra mức độ bảo vệ quyền riêng tư cao và có thể dễ dàng thực hiện, với mục tiêu áp dụng rộng rãi.

Các chính phủ có thể cần đánh giá sự thâm nhập thị trường và các rào cản cạnh tranh bằng cách sử dụng các định nghĩa được cập nhật về các thị trường liên quan và xem xét các thiệt hại tiềm tàng cho người tiêu dùng từ các vi phạm tính riêng tư. Điều này cũng có thể đòi hỏi sự đối thoại giữa các cơ quan quản lý (đặc biệt trong các lĩnh vực cạnh tranh, tính riêng tư và bảo vệ người tiêu dùng).

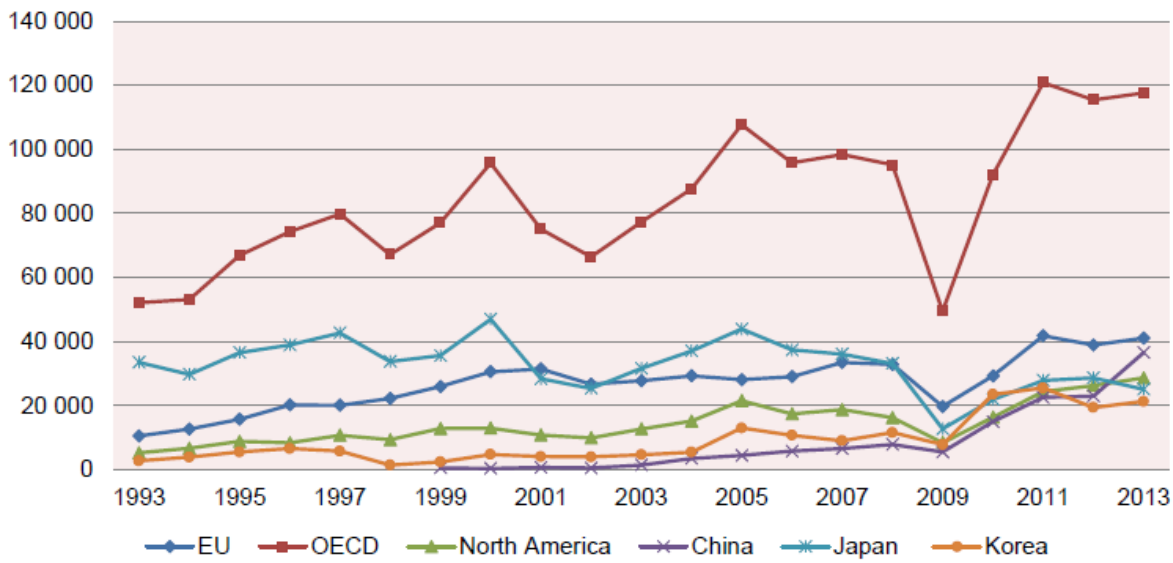
Cần suy nghĩ thêm về quyền hạn và nghĩa vụ pháp lý đối với các quyết định dựa vào dữ liệu không phù hợp**.** Các chính phủ có thể phải đánh giá liệu các quy định và pháp luật hiện hành có giải quyết được tất cả những thách thức về trách nhiệm và nghĩa vụ pháp lý đối với các quyết định dựa vào dữ liệu gây thiệt hại (như giữa những người ra quyết định và nhà cung cấp dữ liệu và phân tích dữ liệu) hay không. Đối thoại đa bên ở cấp quốc gia và quốc tế có thể giúp cho việc này bằng cách trao đổi các thực hành tốt nhất.

Xem xét cẩn trọng là cần thiết đối với tính thích hợp của việc ra quyết định được tự động hóa hoàn toàn, những yêu cầu về tính minh bạch và sự can thiệp cần thiết của con người trong các lĩnh vực có thể gây ra nhiều thiệt hại tiềm tàng của các quyết định được tự động hóa**.** Các yêu cầu về tính minh bạch có thể xung đột với các quyền sở hữu trí tuệ hiện có và giá trị kinh tế của các quy trình và thuật toán trong các hoạt động của một số doanh nghiệp. Cần tiến hành thêm nhiều nghiên cứu hơn để xác định cách tốt nhất để đánh giá tính phù hợp của các thuật toán mà không vi phạm quyền sở hữu trí tuệ hiện có.

Công nghệ kỹ thuật số cũng là nền tảng cho sự phát triển của robot

Robot lần đầu tiên được sử dụng trong ngành công nghiệp - ban đầu là trong lĩnh vực ô tô - vào những năm 1960. Trong nhiều thập kỷ, robot công nghiệp từng có kích thước lớn, đắt tiền, được vận hành từ các vị trí tĩnh trong nhà và thực hiện một số các nhiệm vụ lặp lại và đôi khi nguy hiểm, như hàn xì và gia công cơ khí. Nhưng sự hội tụ của các công nghệ kỹ thuật số và các công nghệ khác đã mang lại một thế hệ robot thứ hai. Những robot này nhỏ hơn, rẻ hơn, tự chủ hơn, linh hoạt và hợp tác hơn. Chúng có thể được những người lao động có trình độ ở mức trung bình lập trình và sử dụng. Ví dụ, Kuka (hãng sản xuất robot của Đức) chế tạo robot tự hành hợp tác và tự động điều chỉnh hành động của chúng để phù hợp với sản phẩm tiếp theo còn chưa hoàn thành (Lorentz et al., 2015). Một số robot thậm chí thực hiện các nhiệm vụ bằng cách bắt chước công nhân. Robot cũng có vai trò mới trong lĩnh vực dịch vụ. Chẳng hạn, sử dụng robot phẫu thuật xâm lấn tối thiểu, vài nghìn ca phẫu thuật tuyến tiền liệt mỗi năm được thực hiện tại Hoa Kỳ. Điều này cho phép thời gian nhập viện ngắn hơn, ít nhiễm trùng và phục hồi nhanh hơn (CCC/CRA, 2009).

Tại 17 quốc gia OECD, từ năm 1993 - 2007, số lượng robot được sử dụng trong ngành công nghiệp tăng 150%. Thị trường cho robot dịch vụ cá nhân và gia đình đang tăng khoảng 20% mỗi năm và giá dự kiến sẽ giảm nhanh trong tương lai gần (McKinsey Global Institute, 2013).



Hình 1.4. *Doanh số toàn cầu của robot công nghiệp (1993-2013)*

Nguồn: IFR Statistical Department at World Robotics, www.worldrobotics.org.

Việc sử dụng robot rất khác nhau giữa các quốc gia: 48% các công ty ở Tây Ban Nha và 44% công ty ở Đan Mạch sử dụng robot trong công nghiệp vào năm 2009, so với chỉ 23% các công ty ở Hà Lan (Fraunhofer, 2015).

Robot thông minh và tự vận hành nhiều hơn sẽ xuất hiện thông qua những cải tiến đang được thấy về hiệu năng tính toán, các công cụ thiết kế cơ điện và chế tạo điều khiển số, tích trữ điện năng và hiệu quả năng lượng điện tử, tính sẵn có và hiệu suất của truyền thông kỹ thuật số không dây cục bộ, quy mô và hiệu suất của Internet và lưu trữ dữ liệu toàn cầu và sức mạnh tính toán (Pratt, 2015). Tuy nhiên, lĩnh vực này vẫn còn nhiều thách thức, đặc biệt là trong nhận thức (nhận biết các đối tượng cụ thể trong môi trường lộn xộn), thao tác và nhận biết.

Thế hệ tiếp theo của các sản phẩm kích cỡ thu nhỏ, phức tạp với vòng đời ngắn sẽ đòi hỏi mức độ thích ứng, tính chính xác và độ tin cậy vượt quá khả năng của con người (CCC/CRA, 2009). Và khi dân số già đi, robot sẽ giúp giảm bớt những hạn chế về nhân khẩu học trong sản xuất. Cùng với việc tăng độ tin cậy của quy trình, robot làm giảm thời gian sản xuất hàng hóa thành phẩm, cho phép đáp ứng tốt hơn với những thay đổi về nhu cầu bán lẻ. Các công ty chế tạo ở châu Âu có sử dụng robot đạt được hiệu quả hơn so với những công ty không sử dụng. Và những hãng có sử dụng robot như vậy ít có khả năng di chuyển sản xuất ra bên ngoài châu Âu (Fraunhofer, 2015).

Robot được sử dụng tăng mạnh theo quy mô của các công ty. Ở châu Âu, 36% các công ty có 50-249 nhân viên được khảo sát sử dụng robot công nghiệp, so với 74% các công ty có từ 1.000 nhân viên trở lên (Fraunhofer, 2015). Điều này phản ánh nguồn tài chính lớn hơn, kinh nghiệm với các công nghệ sản xuất tiên tiến và kinh tế quy mô có sẵn của các công ty lớn.

1.4. Sản xuất sinh học và công nghệ sinh học công nghiệp

Sản xuất hóa dầu đã thay đổi nhanh chóng vào đầu thế kỷ XX. Vài thập kỷ nghiên cứu sinh học đã tạo ra ngành sinh học tổng hợp (định nghĩa trong Hộp 1.5) và các công nghệ chỉnh sửa gen. Khi được liên kết với khoa học bộ gen hiện đại - cơ sở thông tin của tất cả các khoa học sự sống hiện đại - các công cụ sẵn sàng bắt đầu cuộc cách mạng dựa vào sinh học. Pin sinh học, quang hợp nhân tạo và vi sinh vật sản xuất nhiên liệu sinh học chỉ là một số trong những đột phá gần đây.

Hóa chất và nhiên liệu dùng hàng ngày là thị trường lớn cho các sản phẩm sinh học. Trong vài năm gần đây, công nghệ sản xuất hóa chất hoàn toàn phi tự nhiên đã được phát triển. Công nghệ này hiện đang được thương mại hóa.

Hộp 1.5. Một số khái niệm trong sinh học tổng hợp

Hệ gen học (Genomics): là ngành sử dụng axit deoxyribonucleic (ADN) tái tổ hợp, các phương pháp giải trình tự ADN và tin sinh học để giải trình tự, lắp ráp và phân tích chức năng và cấu trúc của bộ gen. Về nhiều phương diện, hệ gen học cũng là một CNTT, tuy nhiên mã của nó không phải là số mà là gen.

Công nghệ sinh học công nghiệp (Industrial biotechnology): liên quan đến tới sản xuất hàng hóa từ sinh khối bền vững thay vì các nguồn hóa thạch hữu hạn. Sinh khối có thể là gỗ, cây lương thực, cây phi lương thực hoặc thậm chí là chất thải sinh hoạt.

Sinh học tổng hợp (Synthetic biology): nhằm mục đích thiết kế và chế tạo các bộ phận dựa vào sinh học, các thiết bị và hệ thống mới cũng như thiết kế lại các hệ thống sinh học tự nhiên hiện có.

Công nghệ sinh học công nghiệp có thể cải thiện năng suất và năng lực cạnh tranh của ngành hóa học bằng cách cải thiện hiệu năng môi trường. Công nghệ sinh học cũng cung cấp các giải pháp độc đáo dựa vào dầu và hóa dầu. Ví dụ, một nhiệm vụ có nhu cầu khổng lồ là tạo ra cây lương thực tự sinh ra được phân bón cho chúng, thông qua sinh học tổng hợp và, trong tương lai gần, chỉnh sửa gen (Keasling, 2015). Nếu thành công, kết quả này sẽ giúp ngành nông nghiệp không còn phụ thuộc vào công nghiệp phân bón sử dụng nhiên liệu hóa thạch nữa.

Các sản phẩm dựa vào sinh học đang bắt đầu trở nên cạnh tranh về chi phí

Các vật liệu và nhiên liệu sinh học hiện đang phải chịu sự cạnh tranh với ngành công nghiệp dựa vào hóa thạch. Qua nhiều thập kỷ, các chuỗi cung ứng dầu khí và các quy trình sản xuất đã được hoàn thiện. Các nhà máy sản xuất đã phát triển hoàn chỉnh và được khấu hao hoàn toàn, và đạt được đủ quy mô kinh tế, có nghĩa là các ngành công nghiệp dựa vào hóa thạch sản xuất nhiều sản phẩm với chi phí thấp. Hơn nữa, trợ cấp được nhiên liệu hóa thạch là rất lớn.

Các sản phẩm dựa vào sinh học không có được điều kiện như vậy. Đầu tư vào sản xuất dựa vào sinh học - điển hình nhất là tinh chế sinh học tích hợp - từng chịu rủi ro rất lớn: Các sản phẩm ban đầu không có tính cạnh tranh, thị trường phải được chính phủ tạo ra và chuỗi cung ứng - đặc biệt là việc thu thập sinh khối - còn mất rất nhiều thời gian để hoàn thiện. Tuy nhiên, việc sản xuất dựa vào sinh học non trẻ đang mang lại các sản phẩm mới cho thị trường. Thực tế, gần 100 hóa chất dựa vào sinh học đang rất gần đến giai đoạn thương mại hóa (E4Tech, 2014).

Hộp 1.6. Sản xuất sinh học và công nghệ sinh học công nghiệp: Những cân nhắc chính sách quan trọng

Chính phủ có thể giúp tạo ra các chuỗi cung ứng bền vững cho sản xuất dựa vào sinh học. Giám sát và kiểm soát thu hoạch các loại cây lương thực và các phụ phẩm của cây là nhiệm vụ chính. Hiện chưa có định nghĩa toàn diện hoặc tiêu chuẩn về tính bền vững (như về các nguyên liệu thô), không có công cụ lý tưởng để đo lường tính bền vững và không có thỏa thuận quốc tế nào về chỉ số dẫn xuất dữ liệu từ đó thực hiện các phép đo lường (Bosch, van de Pol và Philp, 2015). Hiện nay cũng chưa có các tiêu chuẩn về hiệu năng môi trường cho các vật liệu dựa vào sinh học.

Các tranh cãi về sinh khối đã xảy ra và đe dọa tạo ra các rào cản thương mại quốc tế. Quản trị sinh khối bền vững toàn cầu là sự chắp vá của nhiều tiêu chuẩn và quy định tự nguyện. Một cơ sở giải quyết tranh chấp quốc tế có thể giúp giải quyết việc này.

Những trình diễn tinh chế sinh học cần thể hiện các vấn liên quan đến kỹ thuật và kinh tế của quy trình sản xuất trước khi nhận được các khoản đầu tư lớn ở quy mô đầy đủ. Đầu tư cho nhà máy tinh chế sinh học và các cơ sở trình diễn có rủi ro cao và các công nghệ còn chưa được khẳng định. Việc cung cấp tài chính qua mô hình đối tác công - tư là cần thiết để loại bỏ rủi ro cho các khoản đầu tư tư nhân và thể hiện rằng chính phủ có cam kết thực hiện các chính sách nhất quán dài hạn về năng lượng và sản xuất công nghiệp.

Một trong những thách thức lớn nhất trong sản xuất dựa vào sinh học là tính đa ngành của nó**.** Nghiên cứu và đào tạo sẽ phải tạo ra không chỉ là các công nghệ mới cần thiết, mà còn cần một đội ngũ chuyên gia kỹ thuật. Một số phương án có thể hỗ trợ chính phủ trong việc giải quyết thách thức này, chẳng hạn như bằng cách tổ chức các nghiên cứu nhằm vào các sản phẩm kinh doanh, chứ không chỉ dừng ở kết quả nghiên cứu. Để đào ra nguồn nhân lực ngoài nghiên cứu, việc học nghề hiện đại sẽ có thể là một cơ chế khác.

Nghiên cứu sinh học tổng hợp và kỹ thuật trao đổi chất cần được ưu tiên hỗ trợ để rút ngắn chu kỳ đổi mới công nghệ sinh học công nghiệp**.** Phải mất khoảng 7,4 năm để một công ty sinh học tổng hợp đưa được một hóa chất dựa vào sinh học ra thị trường (Lux Research, 2015). Nghiên cứu có mục tiêu sẽ giúp đưa sản phẩm ra thị trường theo thời gian có thể cạnh tranh với ngành công nghiệp hóa thạch.

Chính phủ cần tập trung vào ba mục tiêu liên quan đến các quy định: (1) thúc đẩy việc sử dụng các công cụ, đặc biệt là các tiêu chuẩn, để giảm bớt rào cản thương mại cho những sản phẩm dựa vào sinh học; (2) giải quyết các rào cản pháp lý cản trở đầu tư;

và (3) thiết lập một sân chơi bình đẳng cho các sản phẩm nhiên liệu sinh học và năng lượng sinh học (Philp, 2015). Chính phủ cũng có thể đảm bảo rằng các quy định về chất thải ít mang tính cấm đoán và mềm dẻo hơn, cho phép sử dụng các chất thải sinh hoạt và các phụ phẩm nông, lâm nghiệp trong các nhà máy tinh chế sinh học.

Chính phủ có thể đi đầu trong việc tạo lập thị trường thông qua các chính sách mua sắm công**.** Các vật liệu dựa vào sinh học không phải lúc nào cũng phù hợp với mua sắm công vì đôi khi chúng chỉ là một thành phần của sản phẩm (chẳng hạn như màn hình dựa vào sinh học trên điện thoại di động). Việc mua sắm công đối với nhiên liệu sinh học dễ dàng hơn nhiều (ví dụ cho các đội tàu của nhà nước).

1.5. Công nghệ nano: chất xúc tác cho công nghiệp chế tạo 4.0

Thuật ngữ "nano" mô tả một tiền tố của đơn vị đo (1nm=1x10^{-9}m. Một tờ giấy dày khoảng 100.000nm). Các định nghĩa rộng nhất về công nghệ nano bao gồm tất cả các hiện tượng và quá trình diễn ra trong phạm vi từ 1 - 100nm. Sức mạnh và tính thay đổi của công nghệ nano xuất phát từ khả năng kiểm soát vật chất ở quy mô, nơi mà hình dạng và kích thước của tập hợp các nguyên tử đơn lẻ xác định các thuộc tính và chức năng của tất cả các vật liệu và hệ thống, bao gồm cả các thuộc tính và chức năng của các sinh vật sống. Việc làm chủ được vật liệu ở quy mô nanomet có thể tạo khả năng cho đổi mới sáng tạo trong tất cả các lĩnh vực công nghiệp hiện có. Khi phát triển, công nghệ nano sẽ bước vào một phạm vi sử dụng rộng rãi và đòi hỏi các công nghệ và các thể chế bổ sung.

Trong những năm 1980, các nghiên cứu về triển vọng của khoa học và công nghệ đã thấy trước được những tiến bộ nhanh chóng trong công nghệ nano. Tuy nhiên, tiến bộ trong nghiên cứu và ứng dụng của nó đã chậm hơn đáng kể so với kỳ vọng. Tiến độ bị chậm lại do chi phí cho công cụ NC&PT cao, cũng như do thất bại trong việc phát triển từ quy trình quy mô phòng thí nghiệm sang sản xuất công nghiệp. Khó khăn trong việc đạt được sản xuất ở quy mô thương mại phần lớn là do sự hiểu biết không đầy đủ về các quy trình vật lý và hóa học có liên quan và không có khả năng kiểm soát các thông số sản xuất ở quy mô đó.

Tuy nhiên, trong 10 năm qua, các kỹ thuật sản xuất vật liệu dựa vào công nghệ nano quy mô lớn đã được cải thiện đáng kể. Công nghệ nano ngày càng được sử dụng trong các quy trình sản xuất và sản phẩm được sản xuất. Ví dụ, công nghệ nano có thể cho phép thay thế các quy trình sản xuất tiêu thụ nhiều năng lượng (chẳng hạn như chế tạo pin mặt trời trong các quy trình nóng chảy theo vùng) với các quy trình chi phí thấp (chẳng hạn như in cuộn các tấm pin mặt trời trong môi trường tự nhiên).

Hộp 1.7. Công nghệ nano: Những cân nhắc chính sách quan trọng

Công nghệ nano đòi hỏi những nỗ lực gia tăng hợp tác của các tổ chức và có khả năng của cả quốc tế**.** Các công cụ nghiên cứu và kỹ thuật cần thiết để thiết lập cơ sở hạ tầng NC&PT công nghệ nano rất tốn kém. Thiết bị hiện đại có giá vài triệu euro và thường đòi hỏi phải xây dựng các tòa nhà theo đặt hàng. Hơn nữa, một số công cụ nghiên cứu mạnh nhất chỉ tồn tại dưới dạng nguyên mẫu. Do đó, gần như không thể xây dựng cơ sở hạ tầng công nghệ nano bao gồm tất cả mọi thứ trong một viện hoặc thậm chí là một khu vực nghiên cứu và phát triển duy nhất. Kết quả là công nghệ nano đòi hỏi những nỗ lực gia tăng trong hợp tác liên tổ chức hoặc quốc tế để phát huy hết tiềm năng của nó. Các chương trình NC&PT được tài trợ công cho phép sự tham gia của giới hàn lâm và công nghiệp (cả các công ty lớn và nhỏ) từ các quốc gia khác. Việc xây dựng các mạng lưới bao gồm cả các học viện, phòng thí nghiệm nghiên cứu công và các công ty lớn và nhỏ (bao gồm cả các quốc gia khác) sẽ tạo ra một môi trường ở đó hạ tầng nghiên cứu có thể được chia sẻ, đồng thời giúp các công ty khởi nghiệp tham gia vào chuỗi giá trị thương mại tiềm năng hoặc hiện hành.

Hỗ trợ là cần thiết cho đổi mới sáng tạo và thương mại hóa trong các công ty nhỏ**.** Chi phí tương đối cao cho NC&PT công nghệ nano cản trở sự tham gia và thành công của các công ty nhỏ trong đổi mới sáng tạo công nghệ nano. NC&PT công nghệ nano chủ yếu do các công ty lớn thực hiện. Các công ty lớn có điều kiện tốt hơn để phát triển công nghệ nano do họ tập trung được nhiều nguồn lực cho NC&PT và sản xuất, khả năng tiếp nhận và vận hành các thiết bị đắt tiền, và khả năng tiếp cận và sử dụng tri thức bên ngoài. Các nhà hoạch định chính sách có thể tìm cách cải thiện khả năng tiếp cận thiết bị của các DNNVV bằng cách: (i) tăng số tiền mà các DNNVV nhận được trong các tài trợ nghiên cứu; (ii) trợ cấp/miễn phí dịch vụ; hoặc (iii) cung cấp cho các DNNVV các voucher để sử dụng thiết bị.

Cần hỗ trợ và khuyến khích tính liên ngành. Công nghệ nano có xu hướng phát triển mạnh ở giao diện của các ngành truyền thống. Đó là nơi có sẵn cơ sở hạ tầng nghiên cứu và kỹ thuật đặc thù - có lợi cho tính đa ngành - và kiến thức chuyên môn trong các ngành truyền thống được tích tụ. Ví dụ về những môi trường thuận lợi như vậy bao gồm các mạng ảo, như Đức đã tạo ra để hỗ trợ công nghệ nano y sinh và các tổ chức nghiên cứu như Tổ chức Hợp tác nghiên cứu liên ngành của Vương quốc Anh. Là công nghệ có mục đích chung, công nghệ nano có tác động đến một loạt các ngành công nghiệp. Những công cụ chính sách có thể cần phải được thiết kế theo cách có tính đến các phương pháp tiếp cận đa ngành mà công nghệ nano có thể yêu cầu.

Sự không chắc chắn về quy định liên quan đến đánh giá rủi ro và phê duyệt các sản phẩm hỗ trợ công nghệ nano phải được giải quyết theo cách tiếp cận có tính hợp tác quốc tế**.** Sự không chắc chắn về quy định cản trở nghiêm trọng việc thương mại hóa đổi mới sáng tạo công nghệ nano. Điều này là do các sản phẩm chờ ra mắt thị trường đôi khi mất vài năm trước khi quyết định được đưa ra. Trong một số trường hợp, điều này làm cho các công ty khởi nghiệp công nghệ nano đầy triển vọng phải đóng cửa, trong khi nhiều công ty lớn đã phải chấm dứt dự án NC&PT và các sản phẩm đổi mới sáng tạo. Các chính sách cũng cần hỗ trợ xây dựng các chỉ dẫn minh bạch và kịp thời để đánh giá rủi ro của sản phẩm được chế tạo bằng công nghệ nano, đồng thời cố gắng hài hòa với quốc tế trong những chỉ dẫn đó.

Chính sách nên hỗ trợ các mô hình tài trợ cho đổi mới sáng tạo và kinh doanh mới, cần phải tính tới bản chất tự nhiên có tính hợp tác ngày càng tăng của NC&PT cho những sáng chế phức tạp và thúc đẩy số hóa các quy trình nghiên cứu và sản xuất. Ví dụ, các nhà hoạch định chính sách cần tìm những mô hình theo đó dữ liệu trước cạnh tranh (pre-competitive data) có thể được chia sẻ công khai, mà không ảnh hưởng đến lợi ích của các trường đại học.

1.6. In 3D, sản xuất và môi trường

In 3D đang phát triển nhanh chóng do giá máy in và vật liệu ngày càng giảm, chất lượng của các vật thể in ngày càng hoàn chỉnh và đổi mới. Thị trường in 3D toàn cầu được dự đoán sẽ tăng trưởng khoảng 20% mỗi năm từ 2014 - 2020 (MarketsandMarkets, 2014).

Những đổi mới sáng tạo gần đây cho phép in 3D bằng các loại vật liệu mới - như thủy tinh và kim loại - cũng như in các vật thể bằng nhiều loại vật liệu - như pin và máy bay không người lái. Máy in ADN và in các bộ phận của cơ thể từ tế bào của của người đang được phát triển.

In 3D và tương lai của chế tạo

In 3D có thể giúp tăng năng suất theo một số cách. Ví dụ, chúng ta có thể in 3D các cấu trúc được lắp ráp sẵn làm giảm một số bước trong quy trình sản xuất. Và các quy trình thiết kế có thể được rút ngắn nhờ tạo mẫu nhanh (Gibson, Rosen và Stucker, 2015). Các đối tượng cũng có thể được in mà không thể sản xuất bằng cách nào khác (như các chi tiết kim loại bên trong các cấu phần kim loại kín và liền mạch khác). Hiện nay, hầu hết in 3D được sử dụng để sản xuất các nguyên mẫu, mô hình và công cụ, với chỉ 15% các bộ phận có trong các hàng hóa bán ra (Beyer, 2014).

Trong chế tạo, gia công là phương pháp chính được sử dụng để tạo mẫu và sản xuất số lượng hạn chế các bộ phận tùy chỉnh. In 3D đã thay đổi đáng kể thị trường các cấu kiện

nhựa và kim loại. Chẳng hạn, Boeing đã thay thế gia công bằng in 3D cho hơn 20.000 chi tiết của 300 cấu kiện riêng biệt (Davidson, 2012). Tuy nhiên, gia công là một phân khúc công nghiệp nhỏ, chiếm không quá vài phần trăm tổng doanh số hàng hóa chế tạo.

Việc mở rộng in 3D sang các ngành công nghiệp khác phụ thuộc vào sự phát triển của các công nghệ tiên tiến trong tương lai gần về thời gian in, chi phí, chất lượng, kích thước và lựa chọn vật liệu. Yếu tố chính thúc đẩy hay hạn chế mở rộng in 3D là chi phí chuyển đổi từ phương pháp sản xuất hàng loạt sang in 3D. Chi phí dự kiến sẽ giảm nhanh trong những năm tới khi khối lượng sản xuất tăng (Viện toàn cầu McKinsey, 2013), mặc dù vẫn khó dự đoán chính xác công nghệ này sẽ được triển khai nhanh như thế nào. Hơn nữa, chi phí chuyển đổi không phải là tuyến tính. In 3D sẽ nhanh chóng thâm nhập vào các ngành công nghiệp chi phí cao, sản lượng thấp như tạo mẫu, dụng cụ ô tô, các thiết bị hàng không vũ trụ và một số thiết bị y tế. Nhưng in 3D sẽ dần thâm nhập vào các ngành công nghiệp có chi phí và sản lượng vừa phải.

In 3D và môi trường

Các tác động môi trường của in 3D đối với hai công nghệ công nghiệp quan trọng - gia công cơ khí và máy ép nhựa - cần ưu tiên xem xét. Những công nghệ này đại diện cho hai đầu của một phổ: tạo mẫu đơn chiếc và sản xuất đại trà. Ngay cả khi xem xét các trường hợp hạn chế này, tác động môi trường của in 3D rất khác nhau. Loại máy in, tần suất sử dụng máy in, định hướng bộ phận, hình dạng bộ phận, sử dụng năng lượng và độc tính của vật liệu in đều có vai trò. Một số hệ thống thử nghiệm có tác động môi trường trên mỗi bộ phận thấp hơn nhiều so với máy ép nhựa - có thể thấp hơn 70% trong một số trường hợp. Ngành công nghiệp không có xu hướng hướng tới các hệ thống như vậy, nhưng chính sách có thể khuyến khích các lựa chọn theo mong muốn về mặt xã hội.

Những quan niệm sai lầm phổ biến về các tác động môi trường của in 3D

Hai trong số những lợi ích bền vững được thấy thường xuyên nhất của in 3D - hạn chế phần bỏ đi và vận chuyển - mà không tính đến nhu cầu vật liệu có độ tinh khiết cao thường không thể tái chế và nhu cầu về các vật liệu gia công được vận chuyển đến địa điểm in. Nhiều phương pháp in đòi hỏi độ tinh khiết của vật liệu cao đến mức không thể tái chế.

Tiềm năng của in 3D để tăng cường tính bền vững môi trường là rất cao

Tuy nhiên, in 3D có thể cho phép sử dụng vật liệu bền vững hơn vì:

• Nó cho phép nhiều vật liệu được định hình theo những cách trước đây chỉ có thể thực hiện với các chất dẻo.

• Nó làm giảm các rào cản đối với việc chuyển đổi giữa các vật liệu bằng cách giảm đòi hỏi quy mô kinh tế trong một số quy trình.

• Nó có thể cho phép sử dụng ít thành phần hóa học để mang lại sự thay đổi đa dạng hơn trong các thuộc tính vật liệu bằng cách thay đổi các quy trình in.

Các bộ phận được in 3D cũng có thể làm giảm tác động môi trường của một số sản phẩm do cách thức các sản phẩm có thể được sử dụng, ngay cả khi các tác động đối với môi trường trong quá trình chế tạo là cao. Điều này có thể xảy ra theo hai cách: (i) bằng cách in các bộ phận thay thế cho các sản phẩm cũ nếu không có sẽ bị loại bỏ; và (ii) bằng cách giảm trọng lượng sản phẩm hoặc cải thiện hiệu quả về năng lượng của sản phẩm (các bộ phận được in 3D nhẹ hơn của General Electric cho động cơ phản lực đã cải thiện 15% hiệu quả nhiên liệu [Beyer, 2014]).

Hộp 1.8. Chế tạo đắp dần (in 3D) và tính bền vững: Những cân nhắc chính sách quan trọng

Để hỗ trợ tính bền vững trong in 3D, chính sách trước hết nên khuyến khích các quy trình in sử dụng ít năng lượng và các vật liệu có tác động thấp với các đặc tính hữu ích khi hết thời hạn sử dụng. Thiết kế và vận hành máy in có thể giảm thiểu việc sử dụng năng lượng cho mỗi phần được in bằng cách: sử dụng các quy trình hóa học thay vì nấu chảy vật liệu; sử dụng cơ chế tự động chuyển sang trạng thái năng lượng thấp khi không hoạt động; và tối đa hóa việc sử dụng (dùng chung máy in và, đối với một số loại máy in, in đồng thời nhiều bộ phận hơn). Một cách khác để máy in có thể giảm thiểu tác động của vật liệu là sử dụng vật liệu sinh học có khả năng phân hủy với chất lượng in cao. Thiết kế và vận hành máy in cũng có thể làm giảm phần thải bỏ bằng cách giảm thiểu việc sử dụng các vật liệu hỗ trợ (tất cả các loại máy in thường sử dụng vật liệu hỗ trợ ngoài các vật liệu lập mô hình thực tế để ngăn chặn việc làm cho các bộ phận cong vênh trước khi chúng được định hình hoàn toàn).

Các cơ chế chính sách để đạt được các ưu tiên này nên bao gồm:

• Nhắm mục tiêu tài trợ hoặc đầu tư tài chính (có thể là các chương trình hiện tại hoặc các quỹ mới) để thương mại hóa nghiên cứu theo các hướng này.

• Loại bỏ các rào cản sở hữu trí tuệ để cho phép in 3D các bộ phận sửa chữa cho các sản phẩm hiện hành thiếu các chuỗi cung ứng. Ví dụ, một người tiêu dùng có thể nhận thấy máy giặt bị hỏng và chỉ cần 1 bộ phận nhỏ để thay thế. Về mặt lý thuyết, anh ta sử dụng máy in 3D bằng cách truy cập vào máy tính, tìm tệp CAD và in chế tạo bộ phận đó. Nhưng hầu hết các tệp CAD là sở hữu độc quyền. Giải pháp có thể là ưu đãi quyền cho các bên thứ ba để in các bộ phận thay thế cho sản phẩm, với phí bản quyền được trả cho các nhà chế tạo sản phẩm gốc ban đầu.

Tạo ra một hệ thống chứng nhận tự nguyện để gắn nhãn cho các máy in 3D với các mức độ bền vững khác nhau trên nhiều đặc điểm. Một hệ thống chứng nhận tự nguyện như vậy có thể được kết hợp với các chương trình mua sắm ưu tiên của chính phủ và các tổ chức lớn khác.

1.7. Các vật liệu mới và các công nghệ công nghiệp chế tạo 4.0

Những tiến bộ trong thiết bị khoa học, như kính hiển vi lực nguyên tử và thiết bị *synchrotrons* tia X, cho phép các nhà khoa học nghiên cứu các loại vật liệu chi tiết hơn bao giờ hết. Việc phát triển những công cụ mô phỏng tính toán cho vật liệu cũng rất quan trọng. Ngày nay, một số vật liệu đang nổi lên với nhiều tính chất hoàn toàn mới, chẳng hạn như chất rắn có mật độ có thể so sánh được với mật độ không khí. Hiện nay, tất cả các hợp kim lạ và các vật liệu tổng hợp siêu nhẹ, siêu bền, các vật liệu nhớ hình , tự sửa chữa hoặc tự lắp ráp thành các cấu phần và vật liệu nhạy với ánh sáng và âm thanh đều đã được chế tạo (The economist, 2015).

Thời đại của thử và sửa lỗi trong phát triển vật liệu đang đi tới hồi kết

Tiến bộ trong tính toán đã cho phép làm mẫu và mô phỏng cấu trúc và các tính chất của vật liệu nhằm thông báo các quyết định về cách vật liệu có thể được sử dụng trong các sản phẩm. Các thuộc tính như độ dẫn điện, khả năng chống ăn mòn và độ đàn hồi có thể được tạo ra có chủ ý trong các vật liệu mới. Phương pháp tiếp cận được hỗ trợ bằng máy tính này dẫn tới tăng tốc độ phát triển của các vật liệu mới và cải tiến, sự thâm nhập nhanh hơn của các vật liệu đã biết vào các sản phẩm mới và khả năng làm cho các sản phẩm và quy trình đang có tốt hơn (ví dụ, khả năng silic trong các mạch tích hợp có thể được thay thế bằng vật liệu có tính chất dẫn điện vượt trội). Với công nghệ của công nghiệp chế tạo trong cách mạng 4.0, các kỹ sư sẽ đồng thời thiết kế sản phẩm và các vật liệu cấu thành của nó.

Trong số những vấn đề khác, tầm quan trọng của vật liệu mới đối với chế tạo được phản ánh trong Sáng kiến bộ gen vật liệu của Hoa Kỳ (MGI). MGI nhằm giảm một nửa thời gian và chi phí thấp hơn để phát hiện, phát triển, chế tạo và triển khai các vật liệu tiên tiến.

Vật liệu mới quan trọng cho năng suất và năng lực cạnh tranh

Một cách tiếp cận dựa vào mô phỏng để phát triển vật liệu sẽ làm giảm thời gian và chi phí vì các công ty ít phải tiến hành các phân tích lặp lại hơn. Mô phỏng cũng sẽ cho phép các sản phẩm tốt hơn, chẳng hạn như các cấu trúc phức tạp khoẻ hơn. Việc tích hợp thành công việc lập mô hình vật liệu và khoa học dữ liệu vào hỗ trợ ra quyết định để phát

triển sản phẩm cũng có thể rút ngắn thời gian từ khi khám phá ra vật liệu đến khi sử dụng thương mại chúng. Chương trình Tăng tốc thâm nhập vật liệu, do Cơ quan Dự án Nghiên cứu tiên tiến của Bộ Quốc phòng Hoa Kỳ (DARPA) thực hiện, đã cho thấy việc tiết kiệm thời gian như vậy. Các công ty lớn cũng sẽ ngày càng cạnh tranh trong việc phát triển vật liệu. Điều này là do quy trình chế tạo sở hữu độc quyền áp dụng cho các vật liệu độc quyền tạo ra sự khác biệt có tính cạnh tranh lâu dài (The economist, 2015).

Hộp 1.9. Vật liệu mới và công nghiệp chế tạo 4.0: Những cân nhắc chính sách quan trọng

Hoạch định chính sách ở cấp quốc gia và quốc tế có thể có tác động mạnh mẽ đến sự phát triển của hệ sinh thái đổi mới sáng tạo vật liệu, mở rộng số lượng các nhóm cộng tác viên tiềm năng và thúc đẩy việc áp dụng các chiến lược đầu tư hiệu quả hơn. Không một công ty hay tổ chức nào có thể sở hữu toàn bộ các công nghệ có liên quan tới một hệ sinh thái đổi mới sáng tạo các vật liệu có tính hợp tác điện tử (e-collaborative materials). Vì vậy, một mô hình đầu tư công - tư sẽ là một sự bảo đảm, đặc biệt là liên quan đến việc xây dựng cơ sở hạ tầng thực tế - ảo và phát triển nguồn nhân lực lao động trong tương lai.

Vật liệu mới sẽ làm nẩy sinh những vấn đề chính sách mới và những điểm nhấn mới cho các mối quan ngại từ lâu về chính sách**.** Ví dụ, các rủi ro an ninh mạng mới có thể nảy sinh vì, trong tương lai trung hạn, "quy trình" sản xuất các vật liệu được hỗ trợ máy tính dựa vào các mô phỏng máy tính có thể bị đột nhập. Tiến bộ trong vật liệu mới cũng đòi hỏi chính sách phải hiệu quả trong các lĩnh vực quan trọng vì những lý do đã tồn tại từ trước, thường liên quan đến giao diện khoa học - công nghiệp. Ví dụ, các chính sách được thiết kế tốt là cần thiết cho dữ liệu mở và khoa học mở (để chia sẻ các mô phỏng cấu trúc vật liệu hoặc để chia sẻ dữ liệu thử nghiệm để đổi lấy quyền truy cập vào các công cụ mô hình hoá [Nature, 2013]). Những tiến bộ trong vật liệu mới cũng đòi hỏi sự hợp tác chặt chẽ giữa ngành công nghiệp, trường đại học, cơ quan tài trợ nghiên cứu và phòng thí nghiệm của chính phủ.

Nghiên cứu và giáo dục liên ngành là cần thiết**.** Nghiên cứu vật liệu vốn đã mang tính liên ngành. Vượt ra khỏi khoa học và kỹ thuật vật liệu truyền thống, những đóng góp còn đến từ các lĩnh vực vật lý, hóa học, kỹ thuật hóa học, kỹ thuật sinh học, toán học ứng dụng, khoa học máy tính và kỹ thuật cơ khí, ngoài các lĩnh vực khác. Trong giáo dục, các sinh viên sẽ trở thành chuyên gia tổng hợp, xử lý hoặc chế tạo vật liệu phải hiểu mô hình hóa và lý thuyết vật liệu, trong khi những người lập mô hình và các nhà lý thuyết phải hiểu những thách thức trong ngành công nghiệp.

Cần có sự phối hợp chính sách trên cơ sở hạ tầng đổi mới sáng tạo vật liệu ở cấp quốc gia và quốc tế**.** Những nỗ lực chính đang được tiến hành để phát triển cơ sở hạ tầng thông tin vật liệu ban đầu và các tiêu chuẩn dữ liệu liên quan trong các hiệp hội chuyên nghiệp (Robinson và McMahon, 2016). Nhu cầu phối hợp chính sách quốc tế xuất phát từ sự cần thiết phải liên kết các cơ sở hạ tầng thực tế - ảo xuyên suốt các khoản đầu tư và các năng lực của châu Âu, Bắc Mỹ và châu Á khi điều đó là quá đắt đỏ (và không cần thiết) để tái tạo các nguồn lực có thể truy cập thông qua các dịch vụ web với sự hỗ trợ của người dùng. Cuối cùng, cần có các chính sách tốt vì nhu cầu thay đổi văn hóa chia sẻ dữ liệu, và đặc biệt, để tạo điều kiện cho văn hóa hợp tác điện tử tiền cạnh tranh.

Sự cân nhắc giữa các cơ quan nghiên cứu, công ty, phòng thí nghiệm nghiên cứu của chính phủ, các tổ chức tiêu chuẩn và hiệp hội chuyên nghiệp để phát triển vật liệu mới và được cải tiến chủ yếu liên quan đến tính tương thích của định dạng dữ liệu. Nhưng điều này cần phát triển theo hướng tập trung vào cách sử dụng những dữ liệu này để hỗ trợ các quyết định về khám phá và phát triển vật liệu, cùng với nhiều vấn đề chính sách đã đề cập ở trên. Truy cập tới điện toán hiệu năng cao và lưu trữ đám mây là một yếu tố quan trọng, theo đó các liên doanh tiền cạnh tranh công - tư và chính sách của chính phủ có thể đóng góp. Các sáng kiến như nhóm chuyên gia Kỹ thuật Vật liệu điện toán tích hợp (ICMEg) ở Châu Âu đang giải quyết những vấn đề này.

II. ỨNG PHÓ CỦA CHÍNH PHỦ TRƯỚC CÔNG NGHIỆP CHẾ TẠO TRONG CÁCH MẠNG 4.0

2.1. Sự phổ biến các công nghệ sản xuất mới: Các chính phủ có thể làm gì?

Câu hỏi quan trọng là làm thế nào để đảm bảo rằng các công nghệ, ý tưởng và thực tiễn kinh doanh mới được phổ biến

Vấn đề quan trọng là làm thế nào để những công nghệ được phát triển và phổ biến. Vấn đề này có hai mặt. Đầu tiên, đó là việc gia tăng sự tham gia của các công ty mới và sự phát triển của các công ty là những nhà cung cấp công nghệ mới. Thứ hai, đó là việc tăng năng suất trong các công ty lâu năm phải đối mặt với những trở ngại trong việc triển khai công nghệ. Đặc biệt, trong trường hợp thứ hai, các công ty nhỏ, có xu hướng sử dụng công nghệ then chốt ít thường xuyên hơn các công ty lớn (ví dụ ở châu Âu, 36% các công ty có từ 50 đến 249 nhân viên được khảo sát có sử dụng robot công nghiệp, con số này ở các công ty có 1.000 nhân viên trở lên là 74% [Fraunhofer, 2015]). Hai khía cạnh của phổ biến công nghệ - sự tham gia và tăng trưởng của các công ty, và sự hấp thụ công nghệ mới nói chung - liên quan đến các công cụ chính sách khác nhau.

Một số yếu tố định hình quá trình phổ biến ở cấp quốc gia và quốc tế là: (i) kết nối toàn cầu thông qua thương mại, FDI, tham gia vào chuỗi giá trị toàn cầu và lưu động quốc tế các lao động có kỹ năng; (ii) kết nối và trao đổi kiến thức trong nền kinh tế quốc gia, chẳng hạn như sự tương tác giữa các tổ chức khoa học và giáo dục đại học và doanh nghiệp; (iii) phạm vi để thử nghiệm của các công ty - đặc biệt là những công ty mới - với các công nghệ và mô hình kinh doanh mới; (iv) mức độ đầu tư bổ sung vào NC&PT, kỹ năng, bí quyết tổ chức (nghĩa là năng lực quản lý) và các hình thức vốn dựa vào tri thức khác (OECD, 2015b). Nếu các công ty có thể dẫn dắt cuộc cách mạng sản xuất tiếp theo không thể thu hút nguồn nhân lực và tài chính để phát triển, sự phát triển và phổ biến công nghệ trong tương lai sẽ bị cản trở.

Tái phân bổ nguồn lực không hiệu quả có thể có nhiều nguyên nhân

Việc tái phân bổ nguồn lực không hiệu quả có thể có nhiều nguyên nhân, bao gồm thiếu cạnh tranh sản phẩm, thị trường lao động cứng nhắc, các chướng ngại để các công ty thoái vốn, các rào cản tăng trưởng đối với những công ty thành công và các điều kiện chính sách như hạn chế thương mại. Ví dụ, mức độ nhạy cảm của đầu tư vốn đối với sự thay đổi trong kho bằng sáng chế cao gần gấp đôi ở các quốc gia nơi việc thực thi hợp đồng ít tốn kém hơn (như Na Uy), so với các quốc gia có chi phí cao hơn (như Ý) (Andrew, Criscuolo và Menon, 2014).

Học hỏi từ các nước đi đầu trên toàn cầu là một thách thức đặc biệt đối với các nền kinh tế đang phát triển và mới nổi

Một nghiên cứu được tiến hành vào năm 2013 (Comin và Mestieri, 2013) đã kiểm tra thời gian các công nghệ sẽ được ứng dụng tại các nền kinh tế đã và đang phát triển, và cường độ những công nghệ đó được sử dụng. Đối với 25 công nghệ, các tác giả tìm thấy sự tương đồng về tỷ lệ chấp nhận giữa các quốc gia, nhưng khác biệt về cường độ sử dụng. Học cách sử dụng các công nghệ mới vẫn là một thách thức đối với các công ty ở nhiều nền kinh tế đang phát triển. Các điều kiện tạo tiền đề cho việc học như vậy bao gồm thương mại mở, phân bổ kỹ năng hiệu quả, chất lượng quản lý, khối lượng NC&PT của doanh nghiệp và năng lực của chính phủ để phát triển và triển khai các dịch vụ chính phủ điện tử (OECD, 2015b).

Ngoài các điều kiện khung, điều quan trọng là phải xây dựng các tổ chức phổ biến công nghệ hiệu quả

Các tổ chức phổ biến công nghệ là các bên trung gian, các cơ cấu và điều kiện thuận lợi cho việc áp dụng và sử dụng tri thức, phương pháp và phương tiện kỹ thuật. Một số tổ chức có liên quan, chẳng hạn như dịch vụ phổ biến kỹ thuật, có xu hướng nhận được mức

độ ưu tiên thấp trong bộ tiêu chuẩn các biện pháp hỗ trợ đổi mới. Nhưng có bằng chứng rằng chúng có thể hiệu quả, nếu được thiết kế tốt.

Luận cứ truyền thống để hỗ trợ các tổ chức và cơ chế phổ biến công nghệ xây dựng dựa vào sự thiếu hụt và bất cân xứng thông tin và các thất bại khác của thị trường. Các doanh nghiệp (đặc biệt là DNNVV) thường thiếu thông tin, sự tinh thông và các kỹ năng, đào tạo, nguồn lực, chiến lược và sự tự tin để áp dụng công nghệ mới; các nhà cung cấp và tư vấn tư nhân có thể mất chi phí giao dịch cao trong việc cố gắng phổ biến công nghệ; và tài chính để mở rộng và thực hiện không phải lúc nào cũng có. Điều này đòi hỏi sự hỗ trợ từ các tổ chức phổ biến công nghệ để tìm chỉ dẫn và hỗ trợ các doanh nghiệp xây dựng năng lực, áp dụng và điều chỉnh các lựa chọn đầu tư vào công nghệ mới. Trong môi trường chuyển động nhanh của các công nghệ sản xuất thế hệ tiếp theo, các lý do thất bại thị trường truyền thống cho sự can thiệp thể chế có khả năng thậm chí trở nên quan trọng hơn, để giúp người dùng tiềm năng sàng lọc khối lượng thông tin khổng lồ và hỗ trợ việc ra quyết định trong bối cảnh công nghệ và những yêu cầu về chuyên môn đang thay đổi nhanh chóng.

Các hệ thống đổi mới sáng tạo luôn có nhiều nguồn phổ biến công nghệ, chẳng hạn như các trường đại học và các hiệp hội chuyên nghiệp. Bảng 2.1 cung cấp một loại hình ban đầu của các tổ chức phổ biến công nghệ.

Bảng 2.1. *Loại hình ban đầu của các tổ chức phổ biến công nghệ*

Loại	Các thức hoạt động (chính)	Ví dụ
Các dịch vụ theo từng lĩnh vực	Chẩn đoán, hướng dẫn và tư vấn	Quan hệ đối tác chế tạo mở rộng (Mỹ); Nghiên cứu hợp tác công nghiệp cho DNNVV (Đức)
Dịch vụ kinh doanh định hướng công nghệ	Tư vấn liên kết với cấp tài trợ Phát triển năng lực	Chương trình hỗ trợ nghiên cứu công nghiệp (Canada); Tập đoàn đổi mới sáng tạo (Hoa Kỳ)
Văn phòng chuyển giao công nghệ	Cấp phép chuyển giao (li-xăng) tài sản trí tuệ	Tổ chức chuyển giao công nghệ trường đại học (nhiều quốc gia)
Trung tâm công nghệ ứng dụng	Nghiên cứu theo hợp đồng	Viện Fraunhofer (Đức), TNO (Hà Lan)
Trao đổi thông tin công nghệ	Mạng lưới cộng đồng công nghệ	Mạng chuyển giao tri thức (Vương quốc Anh)

Loại	Các thức hoạt động (chính)	Ví dụ
Thay đổi hành vi dựa vào nhu cầu	Ưu đãi chuyển giao tri thức	Phiếu ưu đãi đổi mới sáng tạo (nhiều quốc gia)
Đối tác công nghệ	Hợp tác nghiên cứu ứng dụng Chế tạo nguyên mẫu và tiêu chuẩn	NNMI (Hoa Kỳ)

Các sáng kiến phổ biến mới đang xuất hiện

Nhu cầu về các chiến lược mới để thúc đẩy sự thay đổi tổ chức, trao đổi tri thức, phát triển năng lực và các sáng kiến dựa vào nhu cầu để phổ biến công nghệ đã làm nảy sinh nhiều sáng kiến mới, trong đó có một số sáng kiến đang được thử nghiệm. Các công nghệ sản xuất mới đã khuyến khích mối quan hệ đối tác vượt qua các ranh giới của các ngành và giải quyết vấn đề phát triển quy mô từ nghiên cứu sang sản xuất. Bên cạnh các trung tâm công nghệ ứng dụng đã được thành lập, như Viện Fraunhofer ở Đức, các phương pháp tiếp cận dựa vào quan hệ đối tác đang gia tăng. Một ví dụ là Mạng lưới Đổi mới chế tạo quốc gia Hoa Kỳ (NNMI), sử dụng các tổ chức phi lợi nhuận tư nhân làm trung tâm của một mạng lưới các công ty và các tổ chức của trường đại học để phát triển các tiêu chuẩn và nguyên mẫu trong các lĩnh vực như in 3D và chế tạo và thiết kế kỹ thuật số.

Các công nghệ thông tin kỹ thuật số đang được triển khai hỗ trợ phổ biến đổi mới sáng tạo

Tương tự như sự gia tăng của việc chia sẻ mở các bài báo và dữ liệu nghiên cứu là sự xuất hiện của các thư viện thúc đẩy chia sẻ các thành phần kiến thiết công nghệ. Ví dụ, BioBricks là một tiêu chuẩn nguồn mở được phát triển tại MIT để cho phép sử dụng chung những bộ phận sinh học tổng hợp thông qua Cổng đăng ký các bộ phận sinh học tiêu chuẩn (Registry of Standard Biological Parts). Các cơ chế nguồn mở như vậy trong công nghệ sinh học tồn tại đối lập với nền tảng của các phương pháp tiếp cận công nghệ sinh học độc quyền truyền thống.

Các chính sách thúc đẩy phổ biến hướng vào tài trợ các hoạt động thiếu hụt giữa nghiên cứu và thương mại hóa, và năng lực thương mại hóa nghiên cứu

Ví dụ, chương trình Tập đoàn đổi mới sáng tạo (I-Corps) do Quỹ Khoa học quốc gia Hoa Kỳ (NSF) thành lập năm 2011 để đẩy nhanh việc thương mại hóa nghiên cứu chuyên sâu khoa học. Nhóm các nhà nghiên cứu và doanh nhân khởi nghiệp nhận được tài trợ để tham gia khóa đào tạo, khuyến khích sự tương tác liên tục với khách hàng và đối tác.

Chương trình này nâng cao kiến thức của người tham gia và năng lực của họ để thành lập các công ty dựa vào kết quả nghiên cứu do NSF tài trợ (Weilerstein, 2014).

Các chính sách đặt trọng tâm nhiều hơn vào nhu cầu đối với các công nghệ sản xuất mới

Tại nhiều quốc gia, các cơ quan chính phủ đã quan tâm nhiều hơn đến việc mua sắm công đối với các đổi mới sáng tạo, thường nhắm vào các DNNVV. Các ưu đãi như tín dụng thuế NC&PT, các quy định và tiêu chuẩn cũng đang được sử dụng để khuyến khích các hoạt động NC&PT tiền thương mại, như nghiên cứu khả thi và chế tạo nguyên mẫu. Hiệu quả của các tổ chức phổ biến công nghệ phụ thuộc một phần vào năng lực hấp thụ của các công ty. Điều này cho thấy tầm quan trọng của những nỗ lực thúc đẩy nhu cầu thông qua các cơ chế như phiếu ưu đãi (voucher) cho đổi mới sáng tạo, khuyến khích người dùng gắn kết với các nhà cung cấp tri thức hoặc công nghệ. Một số quốc gia (bao gồm Vương quốc Anh, Ireland và Hà Lan) đã thúc đẩy sử dụng các phiếu ưu đãi đổi mới sáng tạo.

Hộp 2.1. Phổ biến các công nghệ sản xuất mới: Các cân nhắc chính sách quan trọng

Việc hoạch định chính sách cần đảm bảo tích hợp phổ biến công nghệ và các tổ chức của nó với những nỗ lực triển khai các công nghệ của công nghiệp chế tạo 4.0. Các nhà hoạch định chính sách có xu hướng thừa nhận tầm quan trọng sống còn của việc phổ biến công nghệ ở mức độ cao, nhưng bỏ qua việc phổ biến công nghệ trong phân bố sự chú ý và nguồn lực sau đó. Điều quan trọng là khắc phục tình trạng này. Giá trị kinh tế và xã hội lớn sẽ chỉ có được nếu các công nghệ sản xuất mới được thiết kế và triển khai có trách nhiệm với người dùng và các bên liên quan khác, và nếu những công nghệ này có thể được nhân rộng, được phổ biến và cải thiện trong quá trình sử dụng.

Các tổ chức phổ biến công nghệ cần nắm rõ những mục tiêu và lộ trình theo thời gian thực tế. Nhiều công nghệ mới được đưa vào các hệ sinh thái hiện có, nơi các chi phí chìm đã được đầu tư theo những cách thức cũ. Ví dụ, các nhà máy hoàn toàn tự động được đề xuất trong những năm 1980 đã thất bại một phần do khó khăn trong việc tích hợp chuỗi cung ứng hiện tại với vòng đời sản phẩm mới được rút ngắn. Việc giới thiệu những cách thức mới để tích hợp và phổ biến công nghệ cần có thời gian, sự kiên nhẫn và thử nghiệm. Tuy nhiên, nhiều chính phủ muốn các kết quả khả thi một cách nhanh chóng, không có rủi ro. Các số liệu đánh giá sẽ có nhiều ý nghĩa hơn đối với phát triển năng lực dài hạn, thay vì kết quả gia tăng ngắn hạn.

Sự không phù hợp có thể tồn tại giữa các mục tiêu đã nêu của các tổ chức phổ biến công nghệ và thực tế hoạt động**.** Trong khi một số công nghệ sản xuất mới được thúc đẩy do khả năng của chúng để giải quyết các thách thức xã hội, thì các mô hình tài trợ và đánh giá trong nhiều tổ chức phổ biến công nghệ công lại ưu tiên khía cạnh tạo doanh thu. Hơn nữa, việc phổ biến thường tập trung vào công nghệ tiên tiến mới nhất, khi nhiều doanh nghiệp và người sử dụng chưa khai thác hết tối đa các công nghệ hiện tại và thiếu khả năng hấp thụ các các công nghệ tinh vi. Trong những trường hợp như vậy, có thể cần đến các phương pháp tiếp cận thực tế để phổ biến công nghệ, cùng với các mối quan hệ lâu dài xây dựng năng lực cho các chiến lược tiên tiến hơn.

Hoạch định chính sách cần bằng chứng tốt hơn và sẵn sàng thử nghiệm**.** Hiểu rõ hơn về các thiết kế tổ chức và thực hành hiệu quả để phổ biến công nghệ là rất quan trọng. Trong việc này còn có nhiều vấn đề phải làm ngoài việc thiết kế lại cách đánh giá, phát triển tri thức về các thực hành tốt, mặc dù chúng cũng quan trọng. Về cơ bản, các tổ chức hiện hành cần có khả năng khám phá các phương pháp tiếp cận mới, để đưa các phương pháp có tính sáng tạo vào hoạt động và được tích hợp tốt vào các hệ thống đổi mới sáng tạo. Những quan ngại về trách nhiệm giải trình của chính phủ cùng với sự khắt khe của công chúng trong nhiều nền kinh tế có thể có nghĩa là các tổ chức hiện hành sẽ không sẵn sàng chấp nhận rủi ro để thay đổi rủi ro, làm chậm sự xuất hiện của các tổ chức thế hệ tiếp theo để phổ biến công nghệ.

Có những thực tiễn mà các nhà hoạch định chính sách nên tìm cách tránh. Có lẽ đầu tiên trong số những thực tế này liên quan đến xu hướng tập trung sự chú ý và nguồn lực vào chính sách hỗ trợ các đột phá nghiên cứu và các công nghệ hấp dẫn trong phòng thí nghiệm và bỏ qua, hoặc ít nhất là hỗ trợ khiêm tốn, việc phát triển quy mô công nghiệp và phổ biến các công nghệ mới. Hơn nữa, những nỗ lực để phổ biến các công nghệ mới thường nhắm vào những đối tượng áp dụng sớm. Những đối tượng áp dụng này thường có xu hướng là các công ty đa quốc gia lớn, các doanh nghiệp khởi nghiệp công nghệ cao và số ít các công ty tham gia phát triển công nghệ. Sự chú ý chính sách không chỉ nên được đặt vào những đối tượng áp dụng sớm này, mà còn nên tập trung vào số lượng lớn hơn các DNNVV hiện hành. Thật vậy, một phần đáng kể trong thành công của công nghệ công nghiệp chế tạo 4.0 sẽ phụ thuộc vào sự chiếm lĩnh của các DNNVV. Các chính sách hỗ trợ các tổ chức phổ biến công nghệ không nên được cam kết là các chương trình để khôi phục các công việc chế tạo bị mất. Hiện tại, nhiều tổ chức phổ biến công nghệ có thể giúp các công ty điều chỉnh phương pháp kinh doanh của họ và áp dụng các công nghệ, sản phẩm và chiến lược mới. Việc nâng cao năng lực của cộng đồng chế tạo để hấp thụ các công nghệ công nghiệp chế tạo 4.0 sẽ đòi hỏi thời gian dài (5 - 10 năm hoặc hơn). Theo đó, các tổ chức phổ biến công nghệ cần phải được trao quyền và cung cấp nguồn lực để có những triển vọng dài hạn hơn.

2.2. Sự chấp nhận của công chúng và những công nghệ mới

Trong quá khứ, những quan ngại của công chúng đã ngăn cản sự phát triển và ứng dụng một số công nghệ mới. Điều này xảy ra ngay cả khi tính khả thi về kinh tế và kỹ thuật của công nghệ đã được chứng minh, khi đã có một cơ sở hợp lý để áp dụng và các khoản đầu tư lớn đã được thực hiện (EC, 2013). Ví dụ, nhiều quốc gia đã đầu tư vào việc xây dựng các lò phản ứng hạt nhân trong những năm 1960 và 1970. Ngay cả khi có ý kiến chuyên gia về an toàn, các cuộc biểu tình chính trị thường làm đình trệ việc sử dụng năng lượng hạt nhân (Winner, 1986).

Áp lực của công chúng có thể đưa đến các lựa chọn quy định điều kiện áp dụng công nghệ. Ví dụ, trong lĩnh vực công nghệ sinh học, các cuộc tranh luận công khai về sinh vật biến đổi gen (GMO) đã có tác động lớn đến việc quy định và phê duyệt các loại cây trồng mới ở châu Âu (Watson và Preedy, 2016).

Mặc dù sự quan ngại của công chúng có thể cản trở triển khai công nghệ, nhưng chúng cũng có thể làm gia tăng tính an toàn và khả năng chấp nhận

Các nghiên cứu khoa học và hoạt động phản đối để bảo vệ môi trường trong những năm 1960 và 1970 đã dẫn đến những quy định chặt chẽ hơn về thuốc trừ sâu và các hóa chất khác (Davis, 2014). Luật pháp cũng có thể tạo khả năng áp dụng công nghệ bằng cách ban hành các điều khoản sử dụng có thể chấp nhận: Các nhà hoạt động xã hội trong những năm 1960 về sự an toàn của ô tô dẫn đến các yêu cầu an toàn cao hơn và định hình sự phát triển của ngành công nghiệp ô tô (Packer, 2008).

Công nghệ sinh học là chủ đề của những xung đột dai dẳng của công chúng đối với các rủi ro xã hội

Ở cả các nước phát triển và đang phát triển, cây trồng biến đổi gen đã gây ra mối quan ngại về rủi ro cho sức khỏe và an toàn, khả năng ngăn chặn và đảo ngược sự phát triển của chúng và các tác động của tài sản trí tuệ đến sự tập trung trong cấu trúc của ngành công nghiệp thực phẩm (Jasanoff, 2005). Những mối quan ngại như vậy đã được giải quyết khác nhau ở các quốc gia. Các phương pháp tiếp cận theo quy định cứng nhắc nảy sinh từ thái độ khác biệt của công chúng đối với công nghệ sinh học đã dẫn đến sự gián đoạn thương mại quốc tế và thậm chí dẫn đến việc giải quyết tranh chấp tại WTO (Pollack and Shaffer, 2009). Các chính phủ cần lường trước những mối quan ngại của công chúng xung quanh những tiến bộ công nghệ sinh học gần đây, đặc biệt là công nghệ chỉnh sửa gen (Hộp 2.2).

Hộp 2.2. Chỉnh sửa gen trong xã hội

Với kỹ thuật chỉnh sửa gen, đặc biệt là các kỹ thuật sử dụng hệ thống CRISPR-Cas9 (được tạp chí Science bình chọn là Đột phá của năm 2015), các nhà khoa học có thể thay đổi trình tự ADN tại các vị trí chính xác trên nhiễm sắc thể. Chỉnh sửa gen sẽ làm cho việc thiết kế và tạo ra các sinh vật với những đặc điểm mong muốn một cách dễ dàng hơn với chi phí thấp hơn. VÍ dụ, nó làm tăng khả năng của các phương pháp mới để kiểm soát sâu bệnh cũng như cải thiện việc tạo giống cây trồng và vật nuôi. Gần đây, CRISPR đã được sử dụng ở Trung Quốc để chỉnh sửa bộ gen của phôi người không phát triển được. Các thí nghiệm tương tự đã được phê chuẩn tại Vương quốc Anh (Callaway, 2016).

Vào tháng 3 năm 2015, một nhóm các nhà khoa học và nhà đạo đức học, bao gồm những người đoạt giải Nobel là David Baltimore của Đại học Caltech và Paul Berg của Đại học Stanford, đã đề xuất một biên bản ghi nhớ trên toàn thế giới về biến đổi bộ gen để tạo ra những thay đổi có thể truyền lại cho các thế hệ tương lai. Vào tháng 12 năm 2015, Viện Hàn lâm khoa học quốc gia Hoa Kỳ, cùng với Viện Hàn lâm khoa học Trung Quốc và Hiệp hội Hoàng gia Vương quốc Anh đã triệu tập một hội nghị gồm các chuyên gia quốc tế đến từ khắp nơi trên thế giới để thảo luận về những vấn đề khoa học, đạo đức và quản trị liên quan đến nghiên cứu chỉnh sửa gen người (Reardon, 2015).

Các công nghệ khác gây ra những quan ngại của công chúng cho các vấn đề khác nhau

Một số quan ngại liên quan đến rủi ro, chẳng hạn như công nghệ nano có thể ảnh hưởng đến sức khỏe con người như thế nào (các công trình nghiên cứu gần đây đã tìm thấy lỗ hổng kiến thức đáng kể liên quan đến việc xử lý cuối cùng các hạt nano [OECD, 2016c]).

Các chương trình của chính phủ để thu thập và sử dụng dữ liệu lớn cũng đã gây ra những quan ngại của công chúng và các vấn đề đạo đức quan trọng. Ví dụ, ở Vương quốc Anh, sự thất bại trong việc giải quyết các vấn đề về tính riêng tư và quyền truy cập đã gây ra một cuộc tranh cãi công khai lớn giữa các bác sĩ lâm sàng, các nhóm biện hộ cho bệnh tật và đông đảo công chúng, làm giảm lòng tin vào các cơ quan y tế trung ương (Kirby 2014). Và những công nghệ của công nghiệp chế tạo trong cách mạng 4.0 có thể làm dấy lên những vấn đề xã hội chưa từng thấy trước đây. Chẳng hạn, khi khả năng tự hành của máy móc phát triển, ai sẽ chịu trách nhiệm về kết quả mà máy móc gây ra và việc kiểm soát sẽ được thực thi như thế nào?

Hộp 2.3. Sự chấp nhận của công chúng và công nghệ mới: Những cân nhắc chính sách quan trọng

Những kỳ vọng thực tế về công nghệ có thể giúp duy trì lòng tin**.** Trong các lĩnh vực công nghệ mới nổi, cần phải tránh "sự thổi phồng". Sự nhấn mạnh vào những lợi ích ngắn hạn có thể dẫn đến sự thất vọng. Ví dụ, nghiên cứu tế bào gốc đã được cộng đồng khoa học, cơ quan tài trợ và phương tiện truyền thông thổi phồng những dự đoán (Kamenova và Caulfield, 2015).

Tư vấn khoa học phải đáng tin cậy**.** Phản ứng của công chúng đối với các công nghệ mới và sự mất lòng tin vào các cơ quan quản lý và cơ quan khoa học công có sự liên kết chặt chẽ. Vào cuối những năm 1990 tại Vương quốc Anh, một cuộc tranh cãi công khai đã nảy sinh về cách các nhà quản lý chính phủ không giải quyết được những điều không chắc chắn trong các chiến lược đánh giá và quản lý rủi ro xung quanh bệnh viêm não thể bọt biển ở bò hay còn gọi là bệnh bò điên. Sự việc này làm xói mòn lòng tin đối với các nhà quản lý về những rủi ro mà thực phẩm biến đổi gen mang lại ngay sau đó (Pidgeon, Mufferson và Slovic, 2003). Các quốc gia phải đưa các nguồn lực vào việc làm cho hệ thống thông tin mạnh mẽ hơn bằng cách khuyến khích trao đổi nhiều hơn với công chúng, khuyến khích truyền đạt rõ ràng về các nguồn không chắc chắn và làm cho các quy trình bổ nhiệm và vận hành trở nên có trách nhiệm hơn (Jasanoff, 2003).

Kết quả đánh giá công nghệ về mặt xã hội có thể thông tin cho các nhà hoạch định chính sách khoa học và công nghệ**.** Chính sách đổi mới ở nhiều nước OECD hiện được chỉ dẫn bởi các hình thức đánh giá công nghệ về mặt xã hội được triển khai bằng cách kết hợp các chủ thể, bao gồm các ủy ban đạo đức quốc gia và các cơ quan khác của chính phủ với quan điểm rộng về các rủi ro xã hội, sức khỏe và an toàn. Những đánh giá này liên quan đến phân tích rủi ro chính thức, nhưng cũng có thể cân nhắc những tác động xã hội dài hạn của các công nghệ không dễ được giảm rủi ro ngay lập tức đối với sức khỏe và an toàn .

Các vấn đề đạo đức và xã hội nên được đưa vào các nỗ lực nghiên cứu chính. Kể từ khi triển khai Dự án Bộ gen người (HGP), các nhà tài trợ khoa học ở nhiều quốc gia đã tìm cách tích hợp sự chú ý vào các vấn đề đạo đức, pháp lý và xã hội. Các nhà hoạch định HGP nhận ra rằng lập bản đồ và giải trình tự bộ gen người sẽ có ý nghĩa sâu sắc đối với các cá nhân, gia đình và xã hội và vì vậy họ đã phân bổ hơn 3% ngân sách để nghiên cứu các tác động về đạo đức, pháp lý và xã hội của nghiên cứu. Kể từ cách tiếp cận tiên phong này, các nỗ lực đã được thực hiện ở nhiều quốc gia để hướng khoa học xã hội và nhân văn vào các dòng cấp vốn. Thế hệ tiếp theo của phương pháp tiếp cận này tích hợp các cân nhắc xã hội không phải ở cuối các quy trình công nghệ, mà trong quá trình phát

triển công nghệ. Phương pháp tiếp cận này bao gồm cả chương trình Horizon 2020 của châu Âu và Sáng kiến Công nghệ nano quốc gia Hoa Kỳ .

Sự thận trọng công khai rất quan trọng đối với sự hiểu biết lẫn nhau giữa các cộng đồng khoa học và công chúng, và cần thông báo về các chính sách đổi mới**.** Sự thận trọng có thể có nhiều hình thức khác nhau. Các nhóm công dân và chính quyền thành phố đi tiên phong ở Đan Mạch và những nơi khác vì một loạt các công nghệ mới nổi liên quan đến công nghệ của công nghiệp chế tạo 4.0. Sự thận trọng có thể diễn ra trong bối cảnh các quy trình tư vấn quốc gia và các điều tra công chúng, bao gồm các quy trình dành riêng cho sự tham gia của công chúng và sự chấp nhận và xử lý các mối quan ngại của công chúng, vì vậy chúng có thể có tác động đối với quy trình này.

2.3. Xây dựng viễn cảnh về sản xuất trong tương lai: Các chính phủ nên làm gì?

Hầu hết các chính phủ đều tìm kiếm dự báo viễn cảnh (foresight) trong khoa học và công nghệ. Ví dụ, mục tiêu của Luật Cạnh tranh của Hoa Kỳ là xác định các lĩnh vực mới nổi và đổi mới sáng tạo. Dự đoán tốt hơn về các xu hướng rõ ràng có thể hỗ trợ phát triển chính sách và phân bổ các quỹ nghiên cứu và các nguồn lực khác.

Dự báo viễn cảnh là một loại phân tích triển vọng đặc biệt nhằm vào tư duy về tương lai và định hình nó

Các quy trình xây dựng dự báo viễn cảnh nhằm xác định và đánh giá một cách có hệ thống và minh bạch các điều kiện xã hội, công nghệ, kinh tế, môi trường và chính sách định hình một số khía cạnh của tương lai. Các quy trình xây dựng dự báo viễn cảnh bao gồm: (i) hướng hành động; (ii) sự tham gia (thường liên quan đến các nhà nghiên cứu, doanh nhân, nhà hoạch định chính sách và đại diện của các nhóm công dân); và (iii) cân nhắc nhiều kịch bản tương lai.

Dự đoán không có vai trò chính trong việc xây dựng dự báo viễn cảnh. Trong việc phát triển các lộ trình và xem xét các kế hoạch, dự báo viễn cảnh hỗ trợ việc đánh giá chính xác những gì sẽ xảy ra trong tương lai và lập kế hoạch hành động dựa trên đánh giá này. Hơn nữa, các lợi ích quy trình cũng nảy sinh từ việc xây dựng dự báo viễn cảnh.

Dự báo viễn cảnh có thể - và nên - có nhiều hình thức khác nhau về phạm vi chủ đề, phạm vi địa lý, các trọng tâm, các phương pháp và dòng thời gian

Một số thực hành dự báo viễn cảnh đã tập trung vào chế tạo và sản xuất, bao gồm Tạo giá trị cho Hoa Kỳ: Nắm bắt tương lai của chế tạo, công nghệ và công việc[4] (Donofrio và Whitefoot, 2015), Tương lai của chế tạo: Một kỷ nguyên mới về cơ hội và thách thức

[4] *Making Value for America: Embracing the Future of Manufacturing, Technology, and Work*

đối với Vương quốc Anh[5] (Foresight, 2013) và Tầm nhìn chế tạo - tích hợp các quan điểm đa dạng vào tầm nhìn xa liên châu Âu[6] (Arilla et al., 2005).

Dự báo viễn cảnh có thể hỗ trợ tư duy về những tương lai có thể

Các chính phủ có thể dễ dàng bị mắc kẹt bởi nhu cầu đối phó với tầm nhìn ngắn hạn. Dự báo viễn cảnh tạo ra không gian cho tư duy dài hạn. Dự báo viễn cảnh cũng khai thác những tương lai khác nhau có thể. Trong những thời điểm không chắc chắn, tư duy về khía cạnh đa trạng thái trong tương lai là điều kiện tiên quyết để đưa ra các chính sách nhằm ứng phó với những phát triển không được dự đoán trước. Hơn nữa, trong thế giới phức tạp, nhiều hiện tượng không thể hiểu được một cách biệt lập. Chúng phải được nhìn nhận theo ngữ cảnh, từ một số quan điểm. Dự báo viễn cảnh liên quan đến các phương pháp tham gia có thể kết hợp các quan điểm đa dạng cần thiết.

Dự báo viễn cảnh có thể tạo điều kiện huy động và điều chỉnh các bên liên quan

Hầu hết các hoạt động xây dựng dự báo viễn cảnh không chỉ khai thác các tương lai có thể mà còn tìm kiếm sự hiểu biết chung về tương lai mong muốn có thể là gì. Những tầm nhìn như vậy và - liên quan đến chúng - các lộ trình hoạt động, có thể là công cụ để tập hợp những đối tượng chính xung quanh một chương trình nghị sự chung. Bằng cách lôi kéo sự tham gia của những người từ nhiều lĩnh vực chính sách khác nhau, sự phối hợp chính sách cũng có thể được thúc đẩy theo cả chiều ngang (xuyên suốt các lĩnh vực chính sách, hoặc giữa quốc hội và chính phủ) và theo chiều dọc (giữa các bộ và cơ quan thực thi).

Dự báo viễn cảnh có thể giúp điều chỉnh lại các vấn đề chính sách và thúc đẩy đổi mới tổ chức

Các cơ quan chính phủ có xu hướng được tổ chức dọc theo các lĩnh vực chính sách được phân định ranh giới cứng nhắc. Các cơ cấu tổ chức có thể tụt hậu so với lĩnh vực khoa học và công nghệ thay đổi nhanh chóng. Trong những trường hợp như vậy, có thể khó tìm được một nơi thích hợp cho nghiên cứu cắt ngang các lĩnh vực hoặc cho những phương pháp tiếp cận mới để định hướng nghiên cứu (ví dụ, trong chuyển dịch từ nghiên cứu theo KH&CN sang nghiên cứu định hướng thách thức xã hội). Các cơ quan chính phủ cũng có thể có cái nhìn quan liêu cùng với những người tham gia, đôi khi tham gia lặp lại vào việc ra quyết định. Các quy trình dự báo viễn cảnh có tiềm năng mở rộng và làm mới khung các vấn đề chính sách. Theo một cách thức kết nối, dự báo kết nối cũng có thể tạo ra sự đổi mới của tổ chức.

[5] *The Future of Manufacturing: A new era of opportunity and challenge for the UK*
[6] *Manufacturing Visions – integrating diverse perspectives into pan-European foresight*

Chính phủ có thể tạo điều kiện giúp xây dựng dự báo viễn cảnh hiệu quả

Dự báo viễn cảnh phải được tích hợp một cách thích hợp vào quá trình ra quyết định. Các quy trình dự báo viễn cảnh nên hoạt động đủ sâu sát để ra quyết định có ảnh hưởng, nhưng đủ xa để tự chủ một cách thông minh. Dự báo viễn cảnh nên được phối hợp với các chu trình chính sách để đảm bảo rằng trí tuệ tương lai sẽ sẵn sàng vào đúng thời điểm. Và một số hình thức thể chế hóa - thông qua các chương trình thường xuyên và/hoặc thành lập các tổ chức chuyên dụng - là cần thiết để tạo ra một nền văn hóa dự báo viễn cảnh. Việc thực hành một lần không có khả năng mang lại tác động lớn nhất đến việc hoạch định chính sách mà cầncó sự nỗ lực bền bỉ để tạo ra các năng lực xây dựng dự báo viễn cảnh.

2.4. Công nghiệp chế tạo trong cách mạng 4.0 và các nước đang phát triển

Thực tế là có sự không chắc chắn ở các nước phát triển về tác động của các công nghệ sản xuất mới. Điều tương tự cũng xảy ra ở các nước đang phát triển. Kết hợp sự không chắc chắn này là thực tế các nước đang phát triển có sự đa dạng về kinh tế rất khác nhau. Các nền kinh tế lớn đang phát triển, các nước thu nhập trung bình và các nước kém phát triển sẽ không có năng lực giống nhau để hấp thụ các công nghệ công nghiệp chế tạo 4.0.

Việc hấp thụ thành công các công nghệ của cuộc cách mạng sản xuất tiếp theo ở các nước đang phát triển có thể giúp nâng cao năng suất, tăng tốc chuyển đổi cơ cấu và kích thích tăng trưởng kinh tế bền vững.

Thật vậy, một số công nghệ sản xuất mới phù hợp với các điều kiện kinh tế thường thấy ở các nước đang phát triển. Ví dụ, một số robot hiện đại nhất định tương đối rẻ tiền và không yêu cầu người vận hành có kỹ năng cao. Và công nghệ máy bay không người lái giá rẻ có thể cải thiện năng suất trong một số quy trình nông nghiệp. Đặc biệt với các kênh phổ biến kiến thức được cải thiện, như Internet, cơ hội nhảy vọt về công nghệ có thể nảy sinh, đặc biệt là ở các nền kinh tế lớn đang phát triển. Ví dụ, Trung Quốc là nước sử dụng robot công nghiệp nhiều nhất thế giới và khoảng 3.000 nhà sản xuất robot báo cáo bắt đầu hoạt động tại Trung Quốc trong vòng 5 năm qua (Xinhua, 2016).

Tuy nhiên, công nghiệp chế tạo 4.0 cũng làm tăng khả năng đổ vỡ kinh tế ở các nước đang phát triển. Khi các công nghệ này dẫn đến tới sự điều chỉnh một cách tương đối các chi phí phát triển của những mô hình kinh doanh mới, ưu thế lương thấp của một số quốc gia có thể không còn nữa, dẫn đến sự dịch chuyển trong các chuỗi giá trị toàn cầu. Các mô hình phát triển dựa vào các giai đoạn công nghiệp hóa liên tục có thể bị thách thức và khoảng cách giữa các nước công nghệ tiên tiến và các nước còn lại có thể gia tăng. Sự tinh

thông trong các công nghệ công nghiệp chế tạo 4.0 có thể là con đường duy nhất cho nhiều doanh nghiệp ở các nước đang phát triển đứng vững được trước sự cạnh tranh từ các công ty nước ngoài có công nghệ tiên tiến và tránh được các rào cản thương mại có thể nảy sinh từ các tiêu chuẩn kỹ thuật quốc tế đang nổi lên.

Công nghiệp chế tạo trong cách mạng 4.0 có khả năng sẽ ảnh hưởng đến vị trí sản xuất trong tương lai của các chuỗi giá trị toàn cầu

Trong những thập kỷ gần đây, thế giới đã chứng kiến sự hội nhập quốc tế ngày càng tăng của các thị trường vốn, đầu vào trung gian, hàng hóa cuối cùng, dịch vụ và con người. Sự phân đoạn gia tăng trong các chuỗi giá trị toàn cầu đã thu hút sự chú ý tới các hệ quả kinh tế của việc vận hành ở các phần khác nhau của chuỗi giá trị toàn cầu (OECD, 2013a). Các chuỗi giá trị toàn cầu liên tục phát triển. Tài liệu nghiên cứu gần đây của OECD cho thấy có ít bằng chứng về kết quả của các hoạt động từ các nền kinh tế mới dịch chuyển trở lại các nền kinh tế tiên tiến như là kết quả của tự động hóa, thay đổi công nghệ tiết kiệm chi phí và các điều kiện khác (de Backer et al., 2014). Tuy nhiên, bằng chứng cho thấy các công ty châu Âu sử dụng nhiều robot dường như ít có khả năng chuyển sản xuất ra nước ngoài. Và các đặc tính của một số công nghệ, chẳng hạn như in 3D - thông qua đó có thể tạo ra các sản phẩm hay thành phần dựa vào các thông số kỹ thuật được chuẩn bị trên máy tính ở bất cứ đâu trên thế giới - có thể dẫn đến một số hoạt động sản xuất đang được mang lại gần hơn với thị trường của các nước phát triển. Sự phát triển ở Trung Quốc cũng có khả năng đóng vai trò quan trọng. Ngoài thực tế là Trung Quốc chiếm 20,8% sản phẩm chế tạo toàn cầu năm 2013, mục tiêu gia tăng hàm lượng tri thức của các sản xuất trong nước của Trung Quốc sẽ mở rộng phạm vi thị trường mà Trung Quốc cạnh tranh và cũng sẽ đóng góp vào sự phát triển các công nghệ sản xuất tại các thị trường đó .

Cơ hội và rủi ro sẽ khác nhau giữa các loại ngành công nghiệp

Các ngành công nghiệp sử dụng nhiều lao động chiếm ưu thế ở nhiều nước đang phát triển, chẳng hạn như may mặc, giày dép và đồ da, đồ nội thất, dệt may và thực phẩm, có thể ít bị ảnh hưởng bởi tác động của công nghệ công nghiệp chế tạo 4.0, vì nhiều quy trình trong các ngành công nghiệp này vẫn chưa được tự động hóa hoàn toàn (hoặc về mặt kinh tế). Các ngành công nghiệp khác của các nước đang phát triển như điện và điện tử và máy móc, đặc biệt là những nền kinh tế đang phải đối mặt với tiền lương gia tăng, có khả năng bị ảnh hưởng đáng kể bởi công nghiệp chế tạo 4.0, do tiềm năng tự động hóa cao của chúng. Trong các ngành công nghiệp khác, như chế tạo ô tô, việc áp dụng các công nghệ của cuộc cách mạng sản xuất tiếp theo được kỳ vọng sẽ được xác định không quá nhiều bởi tiền lương hoặc tiềm năng cho tự động hóa, mà bằng nhu cầu trong nước và mong muốn gia tăng của người tiêu dùng về chất lượng và sự tùy biến thích nghi.

Tuy nhiên, thay đổi công nghệ có thể nhanh chóng thay đổi tính hiệu lực của những quan sát trên và đe dọa năng lực ở các nước đang phát triển. Ví dụ, do các yêu cầu khéo tay, sản xuất giày dép cho đến nay vẫn sử dụng nhiều lao động. Nhưng một công ty may mặc toàn cầu gần đây đã xây dựng một cơ sở sản xuất giày ở Đức và hoàn toàn tự động và cho phép tùy chỉnh đáng kể. Các máy móc của cơ sở này được đặt trong hai dây chuyền sản xuất và dự kiến sẽ mất 5 giờ cho một chu kỳ sản xuất đầy đủ (hiện tại phải mất vài tuần) (Shotter và Whipp, 2016). Sewbo, một công ty khởi nghiệp, đang phát triển tự động hóa dệt máy các loại vải may mặc và được cắt bằng máy cắt do máy tính kiểm soát. Và robot thông minh có thể sớm thay thế các chức năng dịch vụ, như các tổng đài cung cấp dịch vụ khách hàng hoặc các hoạt động kế toán, sẽ trở thành trụ cột tăng trưởng ở nhiều nước đang phát triển.

Thách thức lớn sẽ là nâng cấp toàn bộ các hệ thống sản xuất kết nối với nhau

Một thách thức đối với các công ty ở các nước đang phát triển sẽ là năng lực nâng cấp máy móc, nhà máy và hệ thống CNTT-TT kinh doanh, vốn cần thiết cho sản xuất kết nối với nhau. Trong khi "các đảo hiện đại" tồn tại trong các công ty ở nhiều nước đang phát triển, thì tài sản cố định lại thường nằm ở các máy móc cũ và các hệ thống CNTT-TT lạc hậu hoặc lỗi thời, rất khó để trang bị thêm với các công nghệ mới. Các công nghệ của cuộc cách mạng công nghiệp chế tạo 4.0 vận hành với những dung sai và với các tiêu chuẩn và giao thức kỹ thuật mà các công ty ở các nước đang phát triển thường không quen. Và các công nghệ của cuộc cách mạng sản xuất tiếp theo thường đòi hỏi một nguồn điện liên tục không bị gián đoạn, điều này không sẵn sàng ở một số nước đang phát triển. Trong khi các cách tiếp cận được áp dụng dần dần sẽ hữu ích, nhưng lợi ích lớn nhất của cuộc cách công nghiệp chế tạo 4.0 chỉ có được khi các quy trình sản xuất vận hành như là các hệ thống.

Các dịch vụ tài chính cũng có thể kiềm chế công nghệ công nghiệp chế tạo 4.0 ở một số quốc gia

Nhiều công nghệ sản xuất mới nổi đòi hỏi chi phí đầu tư tài chính lớn, thường có thể phục hồi trong khoảng thời gian trên 5 năm. Đầu tư vào công nghệ mới thường không giới hạn ở các công nghệ đặc thù mà đòi hỏi bổ sung một loạt các chi tiêu khác. Ví dụ, các đầu tư vào robot thường đòi hỏi đầu tư một khoản tài chính tương đương vào các thiết bị ngoại vi (như các hàng rào an toàn và cảm biến) và triển khai hệ thống (như quản lý dự án, xây dựng chương trình, cài đặt và phần mềm). Do đó, việc đầu tư cho cuộc cách mạng sản xuất tiếp theo có thể cần đến: một loạt các tổ chức cung cấp tài chính, chẳng hạn như các công ty đầu tư mạo hiểm và ngân hàng phát triển; khoản vay để mua máy móc và khoản vay

chuyên dành cho DNNVV và doanh nghiệp khởi nghiệp. Phạm vi và mức độ như vậy của các dịch vụ tài chính chỉ có ở một số nước đang phát triển.

Nâng cao kỹ năng để đáp ứng những nhu cầu của các ngành công nghiệp tiên tiến hơn sẽ gặp thách thức

Công nghệ của công nghiệp chế tạo 4.0 dự kiến sẽ chuyển nhu cầu từ các kỹ năng thủ công khéo léo và các kỹ năng cơ bản sang các năng lực nhận thức chuyên sâu như phân tích dữ liệu, giải quyết vấn đề và tư duy phản biện. Việc phát triển nhân lực có những kỹ năng như vậy đòi hỏi các tổ chức giáo dục sau phổ thông chức năng hoạt động tốt có thể đào tạo sinh viên trong các lĩnh vực STEM, cũng như sự kết hợp chặt chẽ với một số cơ sở sản xuất và dạy nghề. Nhưng đây là những lĩnh vực giáo dục tập trung nguồn lực và đầu tư nhiều nhất, và vì thế chưa phải là các ưu tiên truyền thống của các nước đang phát triển.

Các nước đang phát triển sẽ cần cơ sở hạ tầng viễn thông toàn diện

Để hưởng lợi đầy đủ từ công nghiệp chế tạo trong cách mạng 4.0 cần có cơ sở hạ tầng viễn thông toàn diện, đáng tin cậy và an toàn, bao gồm băng thông rộng tốc độ cao, các mạng không dây và mạng viễn thông di động và cố định. Việc cung cấp độ bao phủ tới các vùng nông thôn xa xôi, đặc biệt là ở các nước rộng lớn, sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho liên lạc giữa nhà sản xuất và người tiêu dùng địa phương và sự phát triển của các thị trường nội địa được tích hợp. Kết nối nhanh sẽ tạo thuận lợi cho việc trao đổi dữ liệu nhanh chóng dường như có thể là dấu ấn xác nhận tiêu chuẩn của công nghệ công nghiệp chế tạo 4.0 và là một trong những yếu tố thành công của nó.

Xem xét lại chính sách đầu tư về công nghệ của công nghiệp chế tạo 4.0

Công nghiệp chế tạo trong cách mạng 4.0 đặt ra những thách thức cho chính sách đầu tư. Những thập kỷ gần đây đã chứng kiến năng lực trong nhiều ngành công nghiệp thâm dụng công nghệ đang dịch chuyển từ các nền kinh tế phát triển sang các nền kinh tế mới nổi, và các ngành công nghiệp sử dụng nhiều lao động chuyển từ các nền kinh tế mới nổi sang các nước kém phát triển hơn (không chỉ riêng ở châu Á, mà còn ở một số nước ở châu Phi, như Ethiopia, Kenya và Rwanda). Nói cách khác, không phụ thuộc vào mức độ phát triển kinh tế của từng quốc gia, hầu hết các nước đang phát triển đều có thể trông cậy vào một số hình thức đầu tư nước ngoài trong các chiến lược phát triển của họ. Công nghiệp chế tạo trong cách mạng 4.0 có thể thay đổi điều này và sẽ cần chú ý hơn trong việc thiết kế các chính sách đầu tư.

Một số quốc gia đã hành động để ứng phó với thách thức này. Năm 2014, Ấn Độ triển khai sáng kiến "Make in India" và "Chính sách chế tạo quốc gia". Những sáng kiến này nhằm mục tiêu nâng thị phần công nghiệp chế tạo trong tổng sản phẩm quốc

nội, tạo ra 100 triệu việc làm và tạo điều kiện cho đổi mới sáng tạo, thường là trong các lĩnh vực công nghệ cao như hàng không vũ trụ và công nghệ sinh học. Trong khuôn khổ những sáng kiến này, Ấn Độ có kế hoạch mở cửa các lĩnh vực chủ chốt cho FDI, phát triển hơn nữa các cổng đăng ký trực tuyến và giảm thuế suất doanh nghiệp. Năm 2015, Trung Quốc áp dụng sáng kiến "Made in China 2025" (sau đó đổi tên thành Trung Quốc chế tạo 2025 - China Manufacturing 2025), nhằm nâng cấp ngành công nghiệp của Trung Quốc và phát triển công nghiệp chế tạo công nghệ cao và xanh trong các lĩnh vực như y sinh, máy móc kỹ thuật số, phương tiện tiết kiệm năng lượng và CNTT. Trong bối cảnh của sáng kiến này, Trung Quốc có kế hoạch trao cho các nhà đầu tư nước ngoài các quyền ứng xử quốc gia trước khi thành lập (tuân theo các ngoại lệ), ngoài những biện pháp khác.

Các nước đang phát triển nên rà soát lại các thiết lập chính sách liên quan đến đầu tư của họ

Công nghiệp chế tạo trong cách mạng 4.0 sẽ thay đổi các yếu tố quyết định của một số loại hình FDI, khi mà một số yếu tố nhất định từng quan trọng để thu hút đầu tư nước ngoài (như chi phí lao động thấp) có thể trở nên ít quan trọng hơn, trong khi các yếu tố khác như cơ sở hạ tầng không gian mạng và an ninh mạng, giành được sự chú ý. Chính phủ cần đánh giá và thiết kế các chính sách đầu tư theo bối cảnh này, nhằm duy trì và cải thiện hơn nữa sức hấp dẫn của họ đối với FDI. Tất cả các vấn đề chính sách, từ chất lượng của hệ thống giáo dục, đến bảo vệ quyền sở hữu trí tuệ, đều theo các tiêu chuẩn quốc tế, như Hiệp định TRIPS của WTO, với các điều kiện pháp lý (như đối với dịch vụ kỹ thuật số), cho tới việc liệu các nước chủ nhà có là thành viên của các công ước quốc tế về bảo vệ dữ liệu hay không. Các quốc gia cũng cần các quy định cụ thể cho từng ngành công nghiệp cho giai đoạn sau khi thành lập doanh nghiệp, để tránh các công ty hoạt động trong môi trường không có pháp lý. Một ví dụ là các quy định về an toàn sinh học và nghiên cứu tế bào đối với ngành công nghiệp công nghệ sinh học.

Các quốc gia cần cân nhắc liệu có nên cho nhà đầu tư nước ngoài tiếp cận không hạn chế vào các ngành công nghiệp mới nhất định nào không. Ví dụ, Trung Quốc, Ấn Độ và Indonesia gần đây đã rõ ràng cho phép nước ngoài hoàn toàn hoặc một phần vào thương mại điện tử. Nhưng không phải quốc gia nào cũng tạo ra khuôn khổ chính sách cho các ngành công nghiệp mới nổi. Một số quốc gia áp đặt các yêu cầu thành lập cơ sở đối với các nhà đầu tư nước ngoài như một điều kiện tiên quyết để tiến hành thương mại điện tử. Sự nổi lên của các ngành công nghiệp hoàn toàn mới cũng có thể đặt ra những thách thức cho các chính sách đầu tư quốc tế. Các hiệp định đầu tư thường dựa vào cách tiếp cận "danh sách tiêu cực", nghĩa là các bên ký kết cho phép đầu tư nước ngoài vào tất

cả các hoạt động kinh tế, ngoại trừ những hoạt động rõ ràng bị loại trừ. Nhưng đối với các ngành công nghiệp mới, xuất hiện sau hiệp định đó, có lẽ còn chưa rõ liệu chúng có được phép hay không.

Các nước đang phát triển không nên giới hạn công nghệ của công nghiệp chế tạo 4.0 ở các công ty do nước ngoài kiểm soát trong lãnh thổ của họ, mà thay vào đó, nó phải mang lại lợi ích lớn cho tổng thể nền kinh tế của họ. Điều này đòi hỏi phải xây dựng năng lực hấp thụ công nghệ địa phương để các doanh nghiệp trong nước đủ điều kiện hợp tác với các nhà đầu tư nước ngoài.

KẾT LUẬN

Các công nghệ được xem xét trong tổng luận này, từ CNTT-TT và robot cho tới các vật liệu mới, sẽ đóng góp nhiều hơn vào việc tăng năng suất so với những gì hiện thời chúng làm được. Thường thì, các công nghệ này được sử dụng chủ yếu trong các doanh nghiệp lớn. Và thậm chí ở các doanh nghiệp nhỏ, nhiều ứng dụng tiềm năng còn chưa được khai thác. Các cơ hội chưa được khai thác tồn tại khắp các khâu của quá trình chế tạo.

So với các cuộc cách mạng công nghiệp trước đó, dựa vào động cơ hơi nước và điện khí hóa, thì việc hình thành và lan tỏa ở quy mô quốc tế các phát minh có thể biến đổi sản xuất sẽ xảy ra nhanh chóng. Nhưng các công nghệ mới, một khi được sáng chế, cần nhiềuthời gian để phổ biến trong toàn bộ nền kinh tế và để những hiệu ứng về năng suất của chúng được hiện thực hóa đầy đủ.

Việc phổ biến các công nghệ này phải bao gồm không chỉ phần cứng, mà còn cả các đầu tư hữu hình bổ sung và tri thức cần thiết để khai thác đầy đủ các công nghệ đó, từ các kỹ năng cho tới các dạng tổ chức kinh doanh mới. Ở đây, ngoài những điều khác, sự triển khai và tái phân bổ hiệu quả các nguồn nhân lực và tài chính là cơ bản. Các doanh nghiệp mới sẽ đưa ra nhiều công nghệ sản xuất mới.

Trong thế kỷ 21, dữ liệu sẽ là trung tâm của hoạt động sản xuất. Chính sách nên khuyến khích các đầu tư vào dữ liệu có sự lan tỏa tích cực trên toàn bộ nền công nghiệp. Các khó khăn về sử dụng lại và chia sẻ dữ liệu nên được xem xét cẩn trọng và cần phát triển các khung quản trị dữ liệu nhất quán. Chất lượng hạ tầng số, bao gồm cả truy cập tới điện toán hiệu năng cao, sẽ là quan trọng đối với các hãng trong nhiều lĩnh vực.

Sự thay đổi công nghệ nhanh chóng có thể thách thức các kỹ năng và các hệ thống đào tạo. Một số công nghệ sản xuất mới làm gia tăng tầm quan trọng của giáo dục và nghiên cứu liên ngành. Sự tương tác lớn hơn giữa ngành công nghiệp, các cơ sở giáo dục và đào tạo sẽ gia tăng khi nội dung tri thức của sản xuất tăng lên. Các hệ thống có hiệu quả cho học tập suốt đời và đào tạo tại nơi làm việc là cơ bản, như việc nâng cao các kỹ năng có thể phù hợp với nhịp độ thay đổi của công nghệ và việc đào tạo lại có thể tiếp cập được khi cần thiết. Các kỹ năng số và các kỹ năng bổ sung về máy móc là sống còn. Việc đảm bảo các kỹ năng chung tốt - như đọc viết, tính toán và giải quyết vấn đề - trong dân chúng cũng quan trọng, một phần vì các kỹ năng chung là cơ bản để học các kỹ năng đặc thù đang thay đổi nhanh chóng.

Các chính sách khoa học và NC&PT đặc biệt quan trọng. Các công nghệ mới đều là sản phẩm của khoa học. Sinh học tổng hợp, vật liệu mới và công nghệ nano, trong số những lĩnh vực khác, đều bắt nguồn từ những tiến bộ kiến thức và thiết bị khoa học. Nhiều lựa chọn chính sách sẽ xác định sức mạnh của hệ thống khoa học và nghiên cứu và tác động của chúng đến sản xuất. Các nhà hoạch định chính sách cần phải chú ý đến các vấn đề như: các thủ tục phân bổ ngân sách cho nghiên cứu công; sự cân bằng giữa hỗ trợ cho nghiên cứu ứng dụng và cơ bản; một loạt các tính năng thể chế và khuyến khích hình thành khoa học mở; các khuôn khổ khuyến khích cho các công ty, nhà nghiên cứu công và các viện nghiên cứu công để thương mại hóa nghiên cứu, trong khi bảo vệ lợi ích chung; sự phát triển của quan hệ đối tác công tư được thiết kế tốt; việc thực hiện các chế độ di chuyển hiệu quả, minh bạch và đơn giản cho những người có tay nghề cao; sự thuận lợi của các mối liên kết và mạng lưới giữa các nhà nghiên cứu ở các quốc gia; và, việc tạo ra một hỗn hợp hỗ trợ dựa trên bằng chứng rõ ràng bằng cách sử dụng cả các công cụ cung và cầu.

Sự hiểu biết và chấp nhận của công chúng đối với các công nghệ sản xuất mới cũng quan trọng. Các nhà hoạch định chính sách và các tổ chức nên nói lên các kỳ vọng thực tế đối với các công nghệ. Tư vấn khoa học nên được thể hiện không có định kiến và đáng tin cậy. Sự cân nhắc kỹ lưỡng của công chúng có thể giúp xây dựng sự hiểu biết giữa các cộng đồng khoa học và công chúng.

Việc dự đoán tốt hơn các xu thế qua sự thấu hiểu công nghệ có thể hỗ trợ việc hoạch định chính sách và phân bổ các nguồn vốn nghiên cứu. Các quy trình dự báo viễn cảnh có thể mang lại những lợi ích trong bản thân chúng, như các mạng lưới của các bên tham gia đóng góp được tăng cường. Chúng cũng có thể khuyến khích phối hợp chính sách và đổi mới tổ chức và giúp định hướng các chính sách khoa học và NC&PT.

Trong khi công nghiệp chế tạo trong cách mạng 4.0 sẽ đưa đến những thách thức cho các quốc gia phát triển, nó có thể là thử nghiệm đặc biệt cho các quốc gia đang phát triển. Các công nghệ sản xuất mới có thể làm xói mòn ưu thế lương thấp của một số nền kinh tế đang phát triển, dẫn tới các dịch chuyển trong các chuỗi giá trị toàn cầu. Nhưng kịch bản này có thể được một số yếu tố làm giảm nhẹ, bao gồm việc giảm nhanh chóng các chi phí của một số công nghệ và các kênh phổ biến tri thức được cải thiện. Những công nghệ của công nghiệp chế tạo 4.0 cũng tạo ra các nhu cầu cấp bách mới cho các nước đang phát triển nhằm vào việc tiếp thị bản thân họ như là các địa điểm đầu tư hấp dẫn.

Như vậy, khi chính phủ hiểu được cách thức sản xuất có thể phát triển trong tương lai gần, họ sẽ chuẩn bị tốt hơn cho các rủi ro và thu được những lợi ích mà chúng mang lại. Công nghiệp chế tạo 4.0 làm nảy sinh nhiều thách thức chính sách phức tạp nhưng thông qua các chính sách sáng suốt, hiện nay các quốc gia đang có cơ hội để tác động tới cuộc cách mạng 4.0.

Biên tập: Đào Thị Thanh Vân

Trung tâm Thông tin và Thông kê KH&CN

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. OECD (2017), The Next Production Revolution Implications for Governments and Busin ess, OECD, Paris

2. OECD (2017), The next production revolution, a report for the G20, OECD, Paris

3. Arbesman, S. (2016), Technology at the Limits of Comprehension, Penguin Random House, New York.

4. Citigroup-Oxford Martin School (2015), Technology at Work: The Future of Innovation and Employment, University of Oxford

5. Davis, F.R. (2014), Banned: A History of Pesticides and the Science of Toxicology, Yale University Press, New Haven

6. Backer, K. et al. (2016), "Reshoring: Myth or reality?", OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 27, OECD Publishing, Paris

7. EC (European Commission) (2013), "Options for strengthening responsible research and innovation", European Commission, Brussels

8. Foresight (2013), The Future of Manufacturing: A New Era of Opportunity and Challenge for the UK, Government Office for Science, London

9. Markoff, J. (2015b), Machines of Loving Grace: The Quest for Common Ground Between Humans and Robots, Harper Collins Publishers

10. OECD (2011), OECD Council Recommendation on Principles for Internet Policy Making, OECD, Paris

11. Nesse, R. (2014), "The fragility of complex systems", in J. Brockman (ed.), *What Should We Be Worried About?*, Harper Perrenial, New York.

12. Reardon, S. (2015), "Gene-Editing Summit Supports Some Research in Human Embryos", *Nature News*

13. Robinson, L. and McMahon, K. (2016), "TMS launches materials data infrastructure study", *JOM*, Vol. 68, Issue 8

14. Watson, R.R. and V.R. Preedy (2016), Genetically Modified Organisms in Food: Production, Safety, Regulation and Public Health, Elsevier Science, Amsterdam

15. Weilerstein, P. (2014), "NCIIA: Students as the vanguard in a geographically dispersed approach to stimulating science and technology innovation", in J. Engel (ed.), *Global Clusters of Innovation: Entrepreneurial Engines of Economic Growth around the World*, pp. 359-377, Edward Elgar, Cheltenham