٩

التحوُّل إلى الصناعات المستديمة
Shifting to Sustainable Industries

هَـالْ كـين
Hal Kane

يُحْدث الاقتصـاد العـالمي اضطراباً مـؤقتاً في التـوازنات التي تحدث في الطبيعـة. فهـذا الاقتصاد يخلِّف الكربون في الجو بأسرع مما يستطيـع النبات إزالته. وفي ظل إدارة هذا الاقتصاد تفوق وتيرة انقـراض الكائنات كثيراً وتيرة تطـورها. وأخذت التـوازنات التي استغرق وجـودها زمناً طويلاً في غـابات العالم ومروجه ومحيطاتـه في التفكك. وهذا لا يمكن أن يستمر إلى الأبد. وتماماً كما أن الماء الموجـود في بئر مـا لا يمكن سحبه بأسرع مـن إمكانيـة إعادة ملئه إلا لـوقت قصير جـداً قبل أن تجفَّ تلك البئـر، كـذلك الحال بـالنسبـة لهذه التـوازنـات التي لا بـد من استعادتها في نهاية الأمر[١].

وغالباً مـا يتضح كم هي مؤقتة هذه الاتجاهـات عندما تصل إلى نهاية مفاجئـة. وقد ظهر مؤخـراً الكثير من مثل هذه الإمكـانيات المحـدودة، على سبيل المثال بـالنسبة لقطـاع مصائد الأسماك: إذ جفَّ بحر الآرال، وأوقف بذلك كـل الصناعات القائمة هنـاك. والأمثلة الأخرى، مثل البحر الأسود، ستلقى نفس المصير كذلك. فقد هبطت صنـاعة الأسماك هبوطاً مفاجئاً في مرحلة الـركود عندما تـوقف الصيد عن النمو عند ١٠٠ مليون طـن. ولا يقدم خليج شيزابك في الـولايات المتحـدة اليوم سـوى القليـل من الأسمـاك الصدفيـة أو(Chesapeake Bay) السلطعـون، رغم أنـه كـان ينتج من الغـذاء في يـوم من الأيـام أكثـر مـن البحـر الأبيض المتوسط[٢].

ولحسن الحظ، فإن نهاية الصناعات غير المستديمة تجلب في الغالب بدايات جديدة للتصنيع. وقد كان هذا هو الحال مؤخراً في ولاية أُوريغون حيث توقع الكثيرون أن القيود على صناعة قطع الأخشاب ستعني كارثة للولاية. وبدلاً من ذلك، أخذ اقتصادها في الازدهار وأصبح لدى الولاية أقل نسب بطالةٍ طوال جيل كامل، إذ أصبحت أكثر من ٥ بالمائة بقليل فحسب. فقد حلَّت مزارع الأشجار محل الغابات الأولية كمصادر للخشب، في حين أضاف اقتصاد الولاية المتزايد ما يقرب من ١٠٠ ألف فرصة عمل - وهو نفس العدد بالضبط الذي كان من الممكن أن تفقده صناعة الخشب نتيجة للقيود التي وضعتها الحكومة - الكثير منها في إنتاج الحواسيب ومجالات التكنولوجيا المتقدمة الأخرى[٣].

وهذا الدافع لاستعادة الميزان البيئي سيعمل بصورة متزايدة على تشكيل عملية تطوُّر الاقتصاد العالمي. فنحن لا زلنا في بداية مرحلة إعادة بناء البنية. وتظهر صناعات جديدة لإعادة الاستقرار إلى الميزان الطبيعي بناءً على التكنولوجيات التي تستطيع إنتاج الحرارة والضوء دون أن تبث الكربون في الجو، وذلك بالاعتماد على المعادن التي تصنع من خردة المباني القديمة والسيارات؛ وعلى الورق الذي سيصنَعُ مما كان ينظر له في الماضي كنفايات ورقية، وبعض البيوت تُدفَّأ بصورة تامة بفعل الشمس أو الكهرباء التي يجري توليدها عن طريق الرياح.

ولا يعني التحوُّل إلى المصادر المتجددة من الطاقة أو لإعادة التدوير أن نظل نجلس في البرد في فصل الشتاء أو نجلس في الظلام (بدون كهرباء). إذ يمكن لتكنولوجيات الطاقة الشمسية وتكنولوجيات الرياح ولمبات الضوء وسخانات المياه ذات الكفاءة العالية أن توفِّر نفس الدفء والضوء مثل التكنولوجيات التقليدية ولكن بأقل بكثير من التلوث غير المرغوب فيه. كما أن الانتقال إلى الورق والفولاذ اللذين يعاد تدويرهما لا يعني قبول مستويات أقل من المنتجات - فالآلات الجديدة تصنع المنتجات بنوعية مساوية ولكن بموارد أقل وطاقة أقل.

سيتوجب على جزء كبير من الصناعة محاكاة الطبيعة، بإعادة استخدام وإعادة تدوير كل الكيماويات والمواد التي تستخدمها في دورة عملياتها.

وتطورت هذه التكنولوجيات والصناعات ببطء أحياناً وحلَّت تدريجياً محل الصناعات الأكثر دماراً. ومع ذلك فإن التغيُّر المفاجيء أمر متوقع كذلك. فقد هبط إنتاج كربونات الكلوروفلور، والتي تستنزف طبقة الأوزون التي تحمي الأرض بنسبة ٧٧ بالمائة بين عام ١٩٨٩ و١٩٩٤ وذلك استجابة لجهود الدول الحازمة لحماية الستراتسفير، على سبيل المثال.

وبين يوم وليلة فعلاً، اتخذ هذان الجزءان من النظام الاقتصادي خطوات على طريق الاستدامة[٤].

واحتاجت الصناعات المستديمة الأخرى قروناً كي تنمو أو تكيِّف التكنولوجيات القديمة التي ظلت طويلاً تلعب دوراً هاماً في الاقتصاد المتوازن. ولعل من أهم هذه التكنولوجيات القديمة الدراجات الهوائية التي تنقل ملايين الناس كل يوم - أكبر بكثير من عدد الذين تنقلهم السيارات - في الوقت الذي لا تقوم فيه بإنتاج أي تلوث. وتكنولوجيات مثل الدراجات الهوائية، التي هي أبعد ما تكون عن أن تصبح جزءاً من الماضي، بل هي التي تحمل مفتاح المستقبل في الكثير من المناطق، بما فيها الكثير من الدول الصناعية المتقدمة جداً[٥].

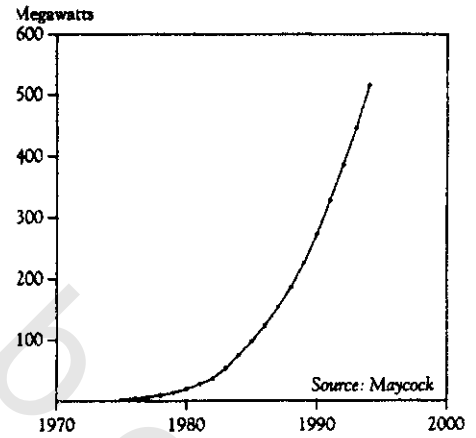
والاختلالات في الاقتصاد الحاضر كبيرة إلى حدِّ أن التدفقات الصناعية من النيتروجين والكبريت قد أصبحت أكبر من تدفقاتها الطبيعية. كما أن التدفقات الصناعية من المعادن من مثل الكادميوم والزنك والخارصين والزئبقِ والنيكل والفاناديوم هي أكبر من تدفقاتها الطبيعية بمقدار الضعف. ولتجنب اضطرابات الأنظمة البيئية والأمراض المتزايدة لدى البشر، يحتاج العالم إلى التحول إلى شكل من أشكال الإنتاج الصناعي الذي ينتج الأقل من هذه الملوثات ويستعيد ما يتبقى منها. ويتطلب من جزء كبير من الصناعة محاكاة الطبيعة بإعادة استخدام وإعادة تدوير كل الكيماويات والمواد التي تستخدمها في دورة عملياتها، بدلاً من التخلص منها كـ «نفايات»[٦].

الثورة الشمسيّة

الاقتصاد المستديم هو الاقتصاد الذي يتمتع بمناخ مستقر (انظر الفصل الثاني). وتحقيق ذلك يعني التخلِّي التدريجي عن الوقود الاحفوري، الذي يساهم في تراكم ثاني أكسيد الكربون الذي يحتبس الحرارة. والاقتصاد القائم على قاعدة من الوقود الاحفوري لا يمكن أن يكون سوى اقتصاد مؤقت، لأن مثل هذه الأنواع من الوقود ستؤدي على المدى الطويل إلى اختلال النظام الطبيعي الذي يعتمد الاقتصاد عليه. ولا بد من هبوطٍ في إنتاج الفحم والنفط حتى يمكن إبطاء ارتفاع درجة حرارة الأرض.

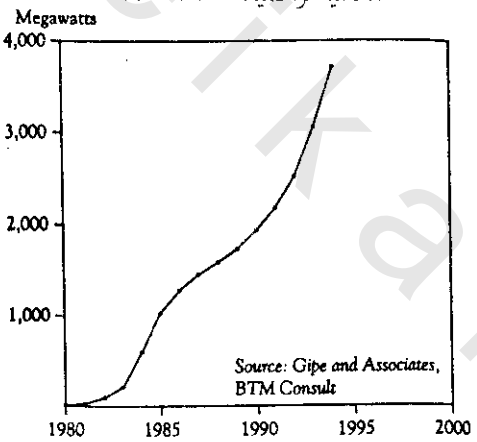
ولحسن الحظ، هناك عدة تكنولوجيات جديدة أصبحت جاهزة للتقليل من الاعتماد على الكربون في الاقتصاد الحالي. ومن التكنولوجيات الرئيسية أنواع مختلفة من الكهرباء الشمسية، من الخلايا الفولط - ضوئية التي تحول ضوء الشمس إلى كهرباء إلى طواحين الهواء الكبيرة

التي تحتبس الطاقة التي تتولد من ارتفاع درجة حرارة الأرض بصورة غير متساوية بواسطة ضوء الشمس. وترتفع مبيعات هذه التكنولوجيات بدرجة كبيرة كلّ عام، وبالتالي تنخفضُ أسعارها[٧].



شكل (٩-١): الشحنات الفولط - ضوئية العالمية تراكمياً، ١٩٧٥ - ٩٤

وقفزت الشحنات العالمية من الرقائق الفولط - ضوئية الصغيرة التي تعتمد على السيليكون التي تنتج الكهرباء مباشرة من ضوء الشمس بأكثر من ٥٠ بالمائة ما بين عامي ١٩٩٠ و١٩٩٤، على سبيل المثال (انظر شكل ٩ - ١). وبالمثل، فقزت السعة التوليدية لطاقة الرياح العالمية ٢٢ بالمائة في عام ١٩٩٤ وحده، مما زاد السعة القائمة بأكثر من ٣٧٠٠ ميغاواط في العام (انظر شكل ٩ - ٢)[٨].



شكل (٩-٢): السعة التوليدية لطاقة الرياح العالمية، ١٩٨٠ - ٩٤

واليوم، فالطاقة التي تولدها مختلف أنواع الطاقة الشمسية صغيرة الحجم مقارنة بتلك الناتجة عن الوقود الاحفوري. إذ لا توفِّر طاقة الرياح، على سبيل المثال، سوى أقل من ١,٠ بالمائة من كهرباء العالم. ولكن الجانب المليءَ بالأمل في هذا الاختلاف إنما يكمن في تنامي أنماطها (أي الطاقة الشمسية). إذ لم يزد إنتاج البترول منذ عام ١٩٧٩ - بل هو الآن في الواقع أقل بحوالي ١٧٠ مليون طن عن الذروة التي وصلها في ذلك العام. كما لا يُنتج من الفحم اليوم أكثر مما كان يُنتج في عام ١٩٨٨، وأقل بكثير من الذروة التي وصلها عام ١٩٨٩ . وفي الوقت ذاته، فإن الخلايا الشمسية والتوربينات الهوائية تسجل زيادة بالعشرات في أي سنة من السنوات المتوسطة[٩].

ويبلغ السوق العالمي السنوي لطاقة الرياح حوالي بليون دولار، كما بلغ السوق الفولط - ضوئي العالمي، بما في ذلك النشاطات من مثل مبيعات المفرَّق والتركيبات، ما يساوي بليون

دولار آخر تقريباً من التجارة في عام ١٩٩٣ . وبطبيعة الحال، فهذه الأسواق تبدو مقزَّمة أمام إجمالي السوق السنوي العالمي للكهرباء المارة عبر الشبكات البالغة حوالي ٨٠٠ بليون دولار. ولكن هناك عدة عوامل تعمل على تغيير نسب إنتاج الطاقة[١٠].

ولا يجري الآن تطبيق أساليب التصنيع الحديثة إلا على إنتاج الخلايا الفولط - ضوئية. وهذا يعني أن الأسعار السابقة كانت أعلى مما ينبغي، مما يضع الخلايا الفولط - ضوئية في موضع ضعيف في أسواق الإنتاج بالجملة. وعلى الرغم من هذا القيد، هبط متوسط سعر البيع بالجملة للفولط - ضوئيات، بحلول عام ١٩٩٣، إلى ما بين ٣,٥٠ دولار و٤,٧٥ دولار لكل واط، أو ما يقارب ٢٥ - ٤٠ سنت لكل كيلواط - ساعة. وفي عام ١٩٩٤، أعلنت شركة الأنظمة الشمسية المتحدة تطوير نموذج فولط - ضوئي ذي ثلاث مقاطع يمكنُهُ توليد الكهرباء بحوالي دولار لكل واط، أو ١٠ - ١٢ سنت لكل كيلوواط - ساعة - أقل من ثلث التكلفة المتوسطة للكهرباء الفولط - ضوئية في عام ١٩٩٣ . وقد يكون بإمكان الشركات الصناعية أن تخفِّض تكلفة الكهرباء الشمسية إلى ١٠ سنت لكل كيلوواط - ساعة بحلول عام ٢٠٠٠ أو ربما إلى ٤ سنت بحلول عام ٢٠٢٠ . فإذا كان الأمر كذلك، فقد تصبح الفولط - ضوئيات إحدى كبريات الصناعات العالمية[١١].

أما طاقة الرياح فإنها أقرب من ذلك بالنسبة لقيامها بنصيب كبير من توليد الكهرباء. وفي بعض المناطق، أصبحت الكهرباء التي تنتجها توربينات الهواء تنافسية من حيث تكاليفها بالفعل مع أشكال توليد الكهرباء التقليدية. ففي أوائل الثمانينات، كانت آلات الرياح تكلف، في المعدل، ٣٠٠٠ دولار لكل كيلوواط وتنتج الكهرباء بأكثر من ٢٠ سنتاً للكيلوواط - ساعة (حسب دولار ١٩٩٣). وبحلول أواخر الثمانينات، أصبحت هذه الآلات أكبر حجماً وأكثر كفاءة في أدائها، وهبطت تكلفتها الرأسمالية، بما في ذلك تكاليف التركيبات، إلى حوالي ١٠٠٠ - ١٢٠٠ دولار لكل كيلوواط. وهذا يعطي، عند معدل سنوي لسرعة الرياح يصل إلى ٥,٨ متراً في الثانية وتكاليف صيانة تصل إلى بنس واحد لكل كيلوواط - ساعة، متوسط تكلفة توليدية تصل إلى ٧ سنت لكل كيلوواط - ساعة بالنسبة لتوربينات الرياح التي جرى تركيبها في الولايات المتحدة في أوائل التسعينات، مقارنة بـ ٤-٦ سنت بالنسبة لمحطات الطاقة الجديدة التي تستخدم وقود الغاز الطبيعي أو الفحم. وقد قامت الشركات التي تطوِّر طاقة الرياح باستخدام التكنولوجيات الأحدث من كلِّ التكنولوجيات الأخرى بتوقيع عقود لبيع الكهرباء المولَّدة بطاقة الرياح بأقل من ٥ سنت للكيلوواط - ساعة[١٢].

توجد الرياح وضوء الشمس بوفرة في جميع مناطق العالم تقريباً، ويمكن أن تتنامى لتحلَّ محل الوقود الاحفوري عندما يتحسَّن حال الاقتصاديات. وتتلاقى العديد من العوامل لجعل نمو الطاقة المتجددة أمراً ممكناً. وأول هذه العوامل هو الحاجة المتزايدة للابتعاد عن الاقتصاد الذي يتخذ الكربون قاعدة له. ويكتسب ميثاق إطار العمل حول التغيُّر المناخي الذي وقِّع في ريودي جانيرو عام ١٩٩٢ أهمية متزايدة مع ازدياد قناعة العلماء أن مناخ الأرض آخذ في الارتفاع في درجة حرارته (انظر الفصل الثاني). ولن يتمكن الموقِّعون على الميثاق من تلبية مطالبه (أي الميثاق) طالما ظلُّوا يعتمدون اعتماداً كاملاً تقريباً على الوقود الاحفوري.

ولبعض الصناعات مصلحة كبيرة في تجنُّب إمكانية حدوث تغير مناخي بفعل ما يقوم به الناس. إذ يتوجَّب على شركات التأمين على سبيل المثال أن تدفع مطالبات تعويضات هائلة ستصاحب الحوادث المتزايدة للأعاصير وموجات الجفاف والفيضانات وارتفاعات مستوى البحر. كما أن للمزارعين مصلحة في المحافظة على الأنماط الحالية لسقوط الأمطار، لأن مواقع مزارعهم وأنظمة الري التي يمارسونها إنما جرى اختيارها، جزئياً، لتتلاءم مع الأنماط الحالية لسقوط الأمطار.

وبصرف النظر عن تجنب تكاليف التغيُّر المناخي، فإن الكثيرين من المستثمرين سيكونون في وضع يمكنهم من الإفادة من ظهور الصناعات الشمسيَّة على نطاق واسع. فالطاقة الشمسية مناسبة بشكل خاص للبنية الاستثمارية في المناطق الأكثر فقراً، حيث لا يتوافر المال اللازم للمرافق الكبرى. وسيستفيدالكثيرون من المنتجين الصغار من فرص العمل التي ستتاح لهم كالفرصة لإيصال الكهرباء التي لم يكن بالإمكان إيصالها إلا عن طريق الشركات الكهربائية الكبرى التي تملك الأموال الطائلة للاستثمار في المحطات التي تستخدم وقود النفط أو الفحم. فهؤلاء المستثمرون الصغار سيكون بإمكانهم شراء مزرعة صغيرة من مزارع الرياح أو التركيز على الألواح الشمسيَّة الموجهة نحو السماء على الأرض التي يملكونها فعلاً، في الوقت الذي يظلّونَ فيه يزرعون المواد الغذائية أو يعملون على تربية مواشيهم. ويحمل هذا العمل في ثناياه فرص إيجاد أعمال محلية في الدول النامية التي لولاها لكان عليها أن تستورد الطاقة اللازمة لها أو تشتريها من شركات الكهرباء الأجنبية.

كما أن الطاقة الشمسية مناسبة بصورة خاصة كذلك للمجتمعات الريفية ذات المساكن والمباني المتباعدة أو للمجتمعات التي يصعب الوصول لها عن طريق الكوابل الكهربائية. ونيبال هي مثال على بلاد يمكن للطاقة الكهربائية اللامركزية فيها أن تكون أكثر جدوى من

مجرد محطات كهربائية كبيرة قليلة. ومع إلغاء مشروع الكهرباء المائية الهائل الذي كان يموله البنك الدولي، في عام ١٩٩٥، فقد أصبح المجال الآن مفتوحاً للاستثمار في تكنولوجيات مثل الطاقة الشمسية المحلية. وفي هذه البلاد الجبلية، فإن الطاقة الشمسية المحلية ومزارع الرياح لها ميزة على أي سدٍّ منفرد من السدود المركزيَّة[١٣].

وبالمثل جرت كهربة ٢٠ ألف منزل في كينيا، خلال السنوات القليلة الماضية، باستخدام الخلايا الشمسية، بالمقارنة مع ١٧ ألف منزل جديد جرى ربطها مع شبكة الكهرباء المركزية. وفي الهند، فإن ازدهاراً لطاقة الرياح بدأ يأخذ مجراه لأن الحكومة قامت بفتح الشبكة الكهربائية للشركات الاستثمارية المستقلة وتقديم حوافز ضريبية للطاقة المتجددة. والهند هي الآن بالفعل ثاني أكبر سوق للرياح في العالم، ولديها طاقة رياح كامنة تقدر بـ ٢٠ ألف - ٥٠ ألف ميغاواط[١٤].

وأمام أجزاء العالم التي لم تلتزم بعد بمصادر الكهرباء المركزية واسعة النطاق الفرصة للتحرك مباشرة نحو الطاقة الشمسية. إذ تخلو أكثرُ من نصف مجموع المنازل في جنوب أفريقيا من الكهرباء، على سبيل المثال. والآن تقوم الشركات في جنوب أفريقيا ببناء مصنع لتصنيع الطاقة الفولط - ضوئية بالقرب من بلدة الكسندرا شمالي جوهانزبيرغ والذي سيزوِّد الكهرباء الشمسيَّة إلى ١٠ الآف منزل، و٦٠٠ عيادة طبية و١٠٠٠ مدرسة. وقد سلِّمت أول الألواح الشمسية في آب (اغسطس) ١٩٩٥ إلى مدرسة ابتدائية في بلدة سويتو (Soweto) التي لا يوجد بها أي كهرباء[١٥].

ستكون فرص العمل في الصناعات التي توفِّر إمدادات نظيفة من الطاقة فرصاً ذات نوعية عالية.

كما أن الطاقة المتجددة تبدو برَّاقة لوزارات الصحة والمخططين الماليين في العالم. فتكنولوجيات هذه الطاقة ستنتج القليل من التلوث الذي يتسبب في ملايين من الوفيات المبكِّرة نتيجة لتلوث الهواء سنوياً في جميع أنحاء العالم، ولذلك فإنها (أي الطاقة المتجددة) ستزيح عبئاً ثقيلاً عن كاهل ميزانيات الرعاية الصحية القومية. وتتسبَّب حوالي ٦٠ ألف وفاة بفعل الجزيئات التي توجد في تلوث الهواء في الولايات المتحدة كل عام، وفقاً لما يقوله الباحثون في كلية الصحة العامة بجامعة هارفرد، ولا يشمل ذلك الملوثات العامة الأخرى الموجودة في الهواء - من ثاني أكسيد الكبريت إلى الرصاص والأوزون وأول أكسيد الكربون

وأكاسيد النيتروجين. ولو أُضيفت تكاليف العناية بهؤلاء المرضى أو الإنتاجية الضائعة بسبب الإجازات المرضية أو الوفيات المبكِّرة إلى ثمن إحراق الفحم والنفط والغاز الطبيعي، عندها سيتضح أن هذه المصادر أكثر تكلفة في هذه الأيام من الكثير من أشكال الطاقة الشمسيَّة (انظر الفصل العاشر)[١٦].

كما أوضحت الكثير من التقديرات، كذلك، أن الانتقال إلى الطاقة المتجددة من شأنه أن يخلق فرص عمل جديدة. فقد قدَّرت دراسة، أُجريت عام ١٩٩٢ برعاية مشتركة من رابطة الغاز الأمريكية واتحاد صناعات الطاقة الشمسيَّة والتحالف من أجل توفير الطاقة، أن التأكيد على الكفاءة ومصادر الطاقة المتجددة والغاز الطبيعي سيؤدي إلى خلق ١٧٥ ألف فرصة عمل جديدة (هذا مع التحفظ) في صناعات إنتاج الطاقة والخدمات بحلول عام ٢٠١٠ مقارنة بالاستمرار في استخدام مجموعة مصادر الطاقة الحالية. كما وجدت دراسة متابعة (للدراسة المذكورة) أجريت عام ١٩٩٤ أن تنفيذ خطة عمل التغيُّر المناخي التي وضعتها إدارة كلنتون سيؤدي إلى استحداث ١٥٧ ألف فرصة عمل جديدة بحلول عام ٢٠٠٠ و٢٦٠ ألف فرصة عمل جديدة بحلول عام ٢٠١٠ أكثر مما ستستحدثه الخطّةُ القائلة بترك الأمور على ما هي عليه. والكثير من استحداث فرص العمل هذا سيتأتى من تحسينات كفاءة الطاقة التي ستحرِّر الأموال اللازمة للاستثمار في النشاطات التي ستتطلب فرص عمل أكبر مما يتطلبه إنتاج الطاقة، ومع ذلك فإن التحول إلى مصادر الطاقة المتجددة سيكون من الأمور الهامة أيضاً[١٧].

وستكون فرص العمل في الصناعات التي توفِّر إمدادات نظيفة من الطاقة ذات نوعية عالية. وسينطوي الكثير منها على التصاميم، سواء أكانت لتكنولوجيات الطاقة المتجددة أو لطاقة الرياح، والمباني ذات الكفاءة العالية، ومن هنا سيكون مردود الكسب المالي منها رواتب عالية، فضلاً عن توفيرها الفرص للعمل الخلاَّق. أما فرص العمل في صناعات الطاقة النظيفة التي تكون أقل إبداعية فهي مع ذلك أكثر أماناً من فرص العمل المماثلة في الصناعات التي تستخدم الوقود الاحفوري. وعلى سبيل المثال، فإن الأمراض مثل مرض الرئة السوداء، شائع الانتشار بين عمال الفحم لن تؤثر على الناس الذين يتعاملون مع التكنولوجيات المتجددة.

والأهم من الجانب الخاص بخلق فرص العمل المباشر، على أية حال، هو حقيقة أن التحوُّل إلى صناعات الطاقة المستديمة من الأمور الهامة في تعزيز الاقتصاديات عامة. فاقتصاد طاقة أكثر كفاءة ونظافة يجعل كل الصناعات التي تعتمد على الطاقة أكثر كفاءة

ونظافة، مما يحسِّن احتمالات نجاحها ويخلق فرص عمل تنتج كل أنواع المنتجات الأخرى. وفي هذا المجال سيتم إيجاد فرص العمل الأكثر ضرورة[١٨].

وليست الخلايا الفولط - ضوئية وتوربينات الرياح هي الأشكال الوحيدة من أشكال الطاقة الشمسية أو الطاقة المتجددة المتاحة، كما أن من غير المحتمل أن تهيمن أي من التكنولوجيات المتجددة بمفردها على ما عداها من التكنولوجيات. إذ ستحبِّذ الاختلافات الإقليمية في الاقتصاد ومدى توفُّر ضوء الشمس بعض الاتجاهات دون غيرها. فالمحركات الحرارية التي تسير بالطاقة الشمسية وخلايا الوقود التي تحوِّل الهيدروجين إلى كهرباء، والعمليات البيولوجية التي تنطوي على الأنزيمات التي يحرِّكها ضوء الشمس هي من بين التكنولوجيات القيِّمة الأخرى. وستمثِّل هذه التكنولوجيات إضافة هامة لخطط الطاقة المتجددة في المستقبل[١٩].

ومع قيام التشريعات واللوائح بتضييق الخناق على التلوث، فإن الطاقة المتجددة هي التي ستكون الرابحة على حساب الوقود الاحفوري. فالعالم يتحرَّك تجاه القيام بالمزيد لحماية الصحة العامة، سواء من خلال التشريعات والتنظيمات المحلية في مجال تلوث هواء المدن أو من خلال المعاهدات الدولية المتعلقة بانبعاثات الكربون. وهذا ما يرسم صورة مشرقة لمستقبل الطاقة المتجددة.

ظهور مصانع الفولاذ المصغَّرة

حتى تكون الصناعة مستديمة، لا بد لها من اشتقاق موادها من إعادة التدوير أكثر بكثير مما تقوم به حالياً. ويتطلب إعادة تدوير المواد، عند المعالجة طاقةً أقل مما تتطلبه المواد البكر، ويعتمد بدرجة أقل على النشاطات التعدينية الجديدة ويخفِّض من عملية التخلص من المواد. والصناعات المجهَّزة لاستعمال نفايات المواد كمصادر لها ليست مستديمة على مدى السنين فحسب، بل تتمتع بميزة تنافسية في الأسواق كذلك، لأنها توفِّر الأموال بعدم شراء المواد الخام الأكثر تكلفة[٢٠].

ويوفِّر كل طن من الفولاذ المدوّر ٢٥٠٠ باوند (رطل) من خام الحديد، و١٠٠٠ باوند من الفحم و٤٠ باوند من الحجر الجيري. ولا يلزم سوى ثلث الطاقة اللازمة لإنتاج الفولاذ من المواد البكر في إنتاجه من نفايات المواد. ويعني توفيرُ المواد، بدوره، ثمناً بيئياً أقل: إذ يظل ما يعادل نصف طن من المواد الترابية على حاله مقابل كلِّ طن من خام الحديد يظل دون

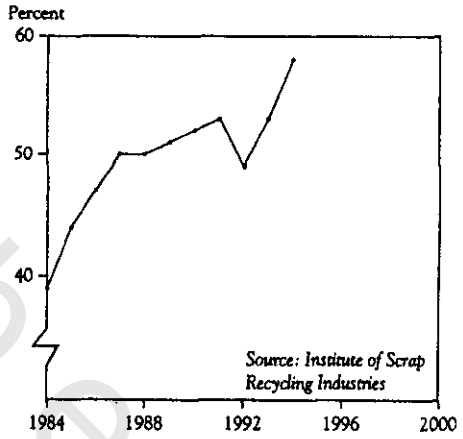
تعدين[٢١].

ويتنامى سريعاً عدد شركات الفولاذ التي تعمل اعتماداً على النفايات، وأصبحت مثل هذه الشركات التي تسمَّى بالمصانع المصغَّرة (Minimills) ترمز إلى ذلك التنامي الذي أخذ يدفع بشركات الفولاذ الأقدم عهداً والأكثر تلوثاً إلى خارج أجزاء كثيرة من سوق الفولاذ، حيث تُهيمن الولايات المتحدة على إنتاج الفولاذ في العالم. وتزوِّد المصانعُ المصغَّرةُ السوقَ الآن بـ ٣٥ بالمائة بعد أن كان ذلك لا يزيد عن حوالي ٥ بالمائة من سوق الفولاذ في الولايات المتحدة عند نهاية الستينات. ويتوقع مركز التنمية التابع لمنظمة التعاون الاقتصادي والتنمية أن أفران القوس الكهربائية، وهي النوع الذي يستعمل في المصانع المصغَّرة، ستصبح مسؤولة عن نصف إنتاج العالم من الفولاذ بحلول نهاية القرن[٢٢].

والمصانع المصغَّرة مصانع صغيرة ذات كفاءة عالية تستخدم نفايات الفولاذ بدلاً من خام الحديد، وتقوم بمعالجته في أفران القوس الكهربائية بدلاً من الأفران التقليدية. وخلال الثمانينات، دفعت هذه المصانع المصغَّرة بشركات صناعة الفولاذ التقليدية إلى خارج صناعة القضبان والدعاميات الإنشائية فعلاً. وحتى عهد قريب، كان إنتاج المصانع المصغَّرة محدوداً في بعض الأصناف والأشكال الفولاذية، ولكنَّ هذا آخذ الآن في التغيُّر. وأصبحت المصانع المصغَّرة مؤخراً قادرة على إنتاج صفائح الفولاذ - وهي إحدى أواخر مناطق نفوذ صناعة الفولاذ التقليدية. وفي عام ١٩٨٩، نجح مصنع مصغَّر في بادىء الأمر في صناعة الصفائح الفولاذية؛ أما الآن فقد أصبح هذا المصنع رابع أكبر مصنع لإنتاج الفولاذ في الولايات المتحدة[٢٣].

وأخذت فورة في الشركات تقتفي أثر هذا النجاح في صناعة الصفائح الفولاذية؛ وأخذت بعض المصانع المصغَّرة في إجراء التجارب على عمليات صنع الفولاذ التي يمكنها من إحداث المزيد من الثورة في صناعة الفولاذ في الولايات المتحدة التي تصل قيمتها إلى ٣٠ بليون دولار. وثمَّة محاولة تجري الآن، على سبيل المثال، لتحويل كريبد الحديد إلى فولاذ بصورة مباشرة مما يوفِّر كميات كبيرة من الطاقة ويتجاوز الخطوات المتوسطة. وهذا من شأنه أيضاً أن يخفِّض التكاليف بنسبة ٣٠-٥٠ دولار في الطن إلى أقل من حوالي ٢٧٠ دولار للطن. وهناك هدف آخر هو القيام بعملية الصبِّ من الفولاذ السائل إلى الصفائح الرقيقة، مما يعني إلغاء الحاجة إلى آلات الدحرجة الثقيلة التي تضغط وتمدَّ الكوابل لتحويلها إلى لفائف[٢٤].

ولما كانت إعادة تدوير الفولاذ عملية مربحة، لذلك أصبحت صناعة مزدحمة، وستؤدي



شكل (٩-٣): المحتوى المدور للفولاذ في الولايات المتحدة ١٩٨٤-٩٤

هذه الزيادات على ما هو مطروح في السوق إلى زيادة المنافسة (انظر شكل ٩-٣). ولدى العالم الطاقة اللازمة لإنتاج الفولاذ بأكثر مما هو مطلوب، وقامت الشركات الأوروبية بتسريح مئات الالآف من عمال الفولاذ في أوائل التسعينات لأنهم كانوا طاقة كبيرة جداً (لم تعد كلها لازمة). وحتى الصين، رغم وجود الطلب القوي على المباني والآلات الجديدة، قامت مؤخراً بتسريح عمال فولاذ. وعلى المصانع المصغَّرة أن تظل على قيد الحياة، إذا استطاعت، في ظل هذا الوضع التنافسي الشديد. والمحتمل أنَّ هذه الشركات ستظل على قيد الحياة عن طريق الإنتاج بكفاءة لم يسبق لها مثيل تتجاوز الإجراءات غير الضرورية وتستثمر جهدها في الموارد المتاحة من النفايات الفولاذية أو الخامات سهلة المنال[٢٥].

كما استطاعت المصانع المصغَّرة أيضاً تحسين كفاءتها عن طريق استخدام أنواع جديدة من المواد واستخدام عمليات جديدة. وعلى سبيل المثال، تضاعف عدد أسواق نفايات العلب الفولاذية في أمريكا الشمالية ثلاث مرات ما بين عامي ١٩٨٩ و١٩٩٢، لازدياد قدرة المصانع المرنة على استعمال العُلَب كنفايات يعاد تدويرها[٢٦].

والمصانع المصغَّرة مثالية للكثير من الدول النامية ذات الأسواق الصغيرة المتفرِّقة وتحتاج إلى كميات متواضعة من الفولاذ بتكلفة رأس مال منخفضة. وعلى مستوى العالم، مع ذلك، فلا زال أمام معظم الدول طريقٌ طويلٌ لا بد لها من السير فيه كي تحسِّن كفاءة إنتاجها من الفولاذ. ولا يقوم الاتحاد السوفييتي السابق، وهو من أكبر خمسة منتجين للفولاذ (بجانب الولايات المتحدة واليابان والصين وألمانيا) بتدوير سوى القليل من الفولاذ ويعتمد بكثافة على خامات الحديد البكر، وأفران المواقد المفتوحة غير الكفؤة، التي لا تستطيع استعمال أكثر من ٤٥ بالمائة من النفايات. ويتطلب إنتاج الفولاذ هناك ٣١ غيغا جول من الطاقة لكل طن – حوالي ٧٠ بالمائة أكثر مما في إيطاليا أو إسبانيا، أكثر الدول المنتجة كفاءة. ولا تستخدم إيطاليا وإسبانيا سوى ١٨ غيغا جول من الطاقة في إنتاج الطن الواحد من الفولاذ، وهي نسبة تحققها الدولتان عن طريق استعمال معادن النفايات بصورة كاملة[٢٧].

وعلى النقيض من ذلك، ظل الفرن القوسي الكهربائي، في أوروبا الشرقية، لا يوفِّر سوى أقل من ١٣ بالمائة من إنتاج الفولاذ. كذلك فإن الصين والهند لا زالتا تعتمدان بكثافة على أفران المواقد المفتوحة، وتستعمل أكثر من ضعف الطاقة في الطن الواحد من الفولاذ المنتج في إيطاليا وإسبانيا[٢٨].

وعلى مستوى العالم أجمع، قد يجري تباطؤ في نمو إعادة تدوير الفولاذ بسبب الشوائب في حديد النفايات الذي يجعل المعادن المدوَّرة هشَّةً. ويمتزج النحاس، بصورة خاصة، مراراً مع معادن النفايات مثل قطع السيارات المدوَّرة. والمعادن التي يتم إنتاجها منه ومن غيره من العناصر الخارجية لا يمكن استخدامها إلا في مجموعة محدودة من المنتجات مثل قضبان التسليح. ونتيجة لذلك، لا تتنافس المصانع المصغَّرة وغيرها من تكنولوجيات التدوير أحياناً مع أفران الأكسجين الأساسية التقليدية لأنها لا تستطيع عمل نفس المنتجات، رغم أن هذا آخذ في التغيُّر تدريجياً مع التحسينات التي تُدخل على تكنولوجيا القوس الكهربائي[٢٩].

ويمكن التغلب على هذه العوائق في وجه نمو التدوير إذا قامت الصناعة بالتركيز على التدفق الكامل للمواد في الاقتصاد. ويمكن التغلب على القصور في استرجاع الفولاذ وغيره من المواد القيمة بالتخطيط لتفكيك المركبات الآلية والأدوات المنزلية وغيرها من مصادر النفايات خلال مراحل التصميم والإنتاج، كما تفعل بعض الشركات الصناعية حالياً. وعلى سبيل المثال، يمكن صناعة السيارات بدون النحاس وغيرها من العناصر التي تعيق عملية إعادة التدوير، كما يمكن تصميم العمليات مقدماً مما يسمح بتفكيك المنتجات بسهولة بعد التخلص منها. وفي هذا تقع الإمكانات الكامنة والكاملة لعملية إعادة التدوير.

ففي هايلاند بارك (Highland Park)، ميتشيجان، يقوم الفنيُّون بعمل ذلك تماماً في مركز تطوير إعادة تدوير السيارات، وهو المشروع المشترك الذي قامت به شركات السيارات الثلاث الكبرى والذي أصبح يعمل بكامل طاقته التشغيلية في صيف ١٩٩٤ . فهم يقومون بتقطيع الأجزاء الفرعية ووزن كل مكوِّن وتصوير وتوقيت الإجراءات. والهدف من ذلك، هو تصميم السيارات بطريقة تجعل تفكيكها أكثر سهولة - أو التصميم للتفكيك، كما أصبحت تسمَّى العملية. وهذا من شأنه استكمال دائرة الإنتاج عن طريق صُنع المنتجات التي يمكن تجديدها واستعمالها أو التخلص منها بطريقة آمنة في نهاية حياة هذه المنتجات. وسهولة تدمير المنتجات أصبح الآن له نفس أهمية سهولة تركيبها. ويجري تطبيق نفس الفكرة الآن على كل شيء من أوعية القهوة إلى جرارات كاتربلر، ومن آلات الاستنساخ إلى الكاميرات[٣٠].

وظلت عملية تفكيك المنتجات مفتاح نجاح المصانع المصغَّرة. إذ تعيد الولايات المتحدة الآن استخدام نسبة مثيرة هي ٧٥ بالمائة من وزن كل سيارة أمريكية تقريباً. إذ يجري في بادىء الأمر تجريد السيارة من القطع القيّمة مثل المحركات والمولدات وناقلات الحركة وغيرها من المكوّنات التي يمكن تجديدها وإعادة بيعها عن طريق حوالي ١٢ ألف شركة لإعادة تدوير قطع السيارات. وبعد ذلك، ينتهي المقام بالجثة المعدنية (الهيكل المعدني) في واحد من ٢٠٠ مصنع تقطيع تقوم بصنع القطع الفولاذية وهياكل السيارات الجديدة. وفي أوروبا، يقدَّر أن ٢٠ مليون سيارة في العام سيتم تفكيكها بحلول نهاية العقد. وتقوم عدة شركات، بما فيها بي إم دبليو (BMW)، بصناعة سيارات قابلة للتفكيك. ووصلت بي إم دبليو بالجزء الذي يعاد تدويره من السيارات إلى ٨٠ بالمائة من وزنها؛ وتهدف إلى الوصول إلى ٩٥ بالمائة من ذلك[٣١].

وتترجم عملية التفكيك وإعادة المعالجة هذه إلى زيادات كبيرة في فرص العمل. وأول حلقات سلسلة هذا العمل هو شركات التفكيك التي تقوم ببيع قطع السيارات. وبعد أن تُفكَّك أجزاء السيارة، يجري بيع الهياكل إلى شركات التقطيع. وهنا يتم فصل المعادن الصلبة مثل الحديد والألومنيوم والنحاس بالطرق المغناطيسية وغيرها عن الأجزاء الأخرى مثل البلاستيك والزجاج والمطاط والأوساخ. كما يجري، من خلال التفكيك والمعالجة، خلق فرص عمل للمصممين كذلك، إذ هناك حاجة لاختيار المواد ووضع التصاميم لتسهيل عمليات إعادة البيع والتدوير والاستصلاح[٣٢].

من ناحية أخرى، أصبحت المصانع المصغَّرة كفؤة بسبب القضاء على بعض مراحل عمليات الإنتاج القديمة. فقد أُلغيت مراحل كثيرة ما بين استخراج الخامات البكر ونقلها والقدرة على تخطي بعض الخطوات مثل طَرْق القضبان إلى منتجات مسطَّحة. ولذلك فقد أصبحت هناك حاجة إلى عدد أقل من العمال في المصانع بالنسبة لكل طن من الفولاذ يجري إنتاجه. كما تم إلغاء جزء كبير من العمل الذي كان يجري في السابق في المناجم المظلمة أو في المعادن التي تسخَّن إلى درجات حرارة عالية في مصانع حارة مليئة بالضجيج. ورغم أن الأعمال الجديدة التي أوجدتها معالجة النفايات المعدنية ليست آمنة تماماً، إلا أنها تمثِّل تحسناً رئيسياً على بعض أكثر الصنعات خطورة في الماضي[٣٣].

ويمكن للمجتمع الصناعي المتطوِّر والمستقر في عدد سكانه أن يعيش إلى حدٍ بعيد على إعادة تدوير الفولاذ ولا تكون نسبة تلوث الهواء والماء فيه سوى جزء ضئيل مما هو عليه عند استخدام المعادن الأولية. وفي عدا الفَقْد الناجم عن الشوائب والصدأ والتلف من بعض

الفولاذ الذي لا يمكن تجنبه نتيجة لعملية التدوير، فإنه يمكن استخدام المعادن وإعادة استخدامها مراراً وتكراراً، إلى مالا نهاية.

ثورة في تدوير الورق

منذ أوائل عام ١٩٩٤، حدثت تغيرات كبيرة على التدوير في أمريكا الشمالية وبخاصة في مجال تدوير الورق. وحتى عهد قريب مثل عام ١٩٩٣، كانت أسواق أمريكا الشمالية للكثير من المواد المستعادة غير جديرة بالاعتماد؛ والأسعار منخفضة والكثير من المجتمعات غير واثقة من قدرتها على المدى الطويل على بيع المواد التي تجمعها. أما الآن فقد ارتفعت الأسعار وتقدم هذه الأسواق مصدراً يعتمد عليه من المواد القيمة؛ وفي بعض الأحيان فإن العرض من المواد الخردة لا يكاد يكون قادراً حتى على مجاراة الطلب. وعلى سبيل المثال، ارتفع متوسط سعر المطبوعات الإخبارية القديمة في الولايات المتحدة، ما بين كانون الثاني (يناير) ١٩٩٤ وآذار (مارس) ١٩٩٥، - الذي ظلَّ يراوح قريباً من الصفر أو حتى دون ذلك منذ أواسط عام ١٩٩١ - بعشرين ضعفاً على الرغم من تزايد طاقات جمع هذه الخردة[٣٤].

وفجأة، أصبح الورق التالف، الذي كان في يوم من الأيام عبئاً ينبغي التخلص منه، مصدراً رئيسياً، وبدأت المجتمعات، التي كان عندها بعد النظر لإقامة برامج التدوير القوية قبل سنوات قليلة، في جني ثمار هذا العمل. وتتوقع مدينة نيويورك، التي كانت قبل عامين تدفع ستة ملايين دولار في العام للتخلص من المطبوعات الإخبارية التالفة، أن تحصل على عشرات الملايين من الدولارات من بيع هذه المطبوعات. وتضاعفت كمية الورق المستعاد من نفايات البلديات في الولايات المتحدة ما بين عامي ١٩٨٥ و١٩٩٣، لتصل إلى ٢٦ مليون طن، كما يتزايد استهلاك الورق المستعاد بسرعة تفوق ضعفي سرعة استهلاك إجمالي الألياف[٣٥].

هذا التحوُّل في الأحداث الذي يحظى بالترحيب له عدة مصادر: فارتفاع الطلب على الورق في الاقتصاديات التي استردَّت عافيتها من الركود الذي ساد أوائل التسعينات أدى إلى ازدهار الأسعار. كما أن التزايد في برامج المشتريات الحكومية والخاصة التي تعطي الأفضلية للألياف المعاد تدويرها مسؤول أيضاً عن القيمة الجديدة للمواد المدوّرة. ومع تزايد الخبرة في إعادة التدوير، أخذ المزيد من الناس يثقون في المنتجات المدوَّرة التي كانوا يوماً ما عازفين عنها. وأخيراً، وضعت استثمارات رأسمالية كبيرة في الشركات التي تعالج النفايات، وهذا تحوُّل ضروري عما كان يحدث في الماضي، عندما كانت تنصبُّ معظم الجهود على جمع

النفايات وليس على إعادة تصنيعها كذلك.

وهذا الازدهار في تدوير الورق حيوي للغابات في العالم ولأنواع الكائنات التي تعيش فيها، وكذلك للإبقاء على الصناعة مستديمة. وعلى النطاق العالمي يمكن لصناعة اللب والورق أن تستهلك ما يقرب من أربع بلايين شجرة سنوياً، والبعض من هذه الأشجار يجري سَلْخُه من غابات الأشجار القديمة النمو التي لا يمكن استبدالها. وفي صنعها لِلب الورق، تقوم هذه الصناعة كلّ عام بإلقاء ٩٥٠ ألف طن من تدفقات الكلورين العضوي، بما في ذلك الديوكسينات السامة والسرطانية في الأنهار. كما تضخُّ ١٠٠ ألف طن من ثاني أكسيد الكبريت الذي ينتج الأمطار الحمضية في الهواء. وتطلق ٢٠ ألف طن أخرى من الكلورفورم، الذي يسبب مرض الكبد والذي يُخشى أنه يسبب السرطان كذلك. وستقوم شركات التدوير بالتخفيف من هذه الأعباء، وإن كانت لا تستطيع القضاء عليها تماماً[٣٦].

ولكن الحصول على الربح هو الدافع، حقيقة، للاستثمار في إعادة التدوير. وتقدِّر رابطة الورق والغابات الأمريكية، وهي المجموعة التجارية الرئيسية في هذه الصناعة، أن الشركات الأعضاء فيها سوق تستثمر ما مجموعه ١٠ بلايين دولار في التدوير بحلول نهاية التسعينات، وتستهدف إعادة تدوير أو إعادة استعمال نصف كمية الورق المنتج في الولايات المتحدة بحلول عام ٢٠٠٠ . وأضافت المصانع الجديدة عدة ملايين من الأطنان على سعة تدوير الورق في عام ١٩٩٥، كما أنها بحاجة إلى المزيد من إمدادات ورق النفايات؛ وسوف يؤدي هذا إلى المزيد من ارتفاع الأسعار. ففي عام ١٩٩٢، كان على الشركات أن تدفع أجور رفع ونقل النفايات بعيداً. إلا أنه بحلول أوائل عام ١٩٩٤، أصبح باستطاعتها بيع هذه النفايات. وبعد الارتفاع المستمر في الأسعار منذ ذلك الوقت، أصبح ورق الصحف المستعمل يباع الآن بأكثر من ٤٠ دولار للطن الواحد. ويباع الورق المقوى المستعمل الآن بأكثر من ٧٠ دولار للطن، ويمثل كل هذا اتجاهاً معاكساً تماماً لما كان يحدث في الماضي[٣٧].

وتقف الحكومة وراء الزيادة في تدوير الورق كذلك. فحكومة الولايات المتحدة هي أكبر مشترٍ للورق في العالم – ٣٠٠ ألف طن من الورق في العام. وفي عام ١٩٩٣ أصدر الرئيس كلينتون أمراً تنفيذياً يتطلب أن تحتوي جميع مشتريات الحكومة الفدرالية من الورق على ٢٠ بالمائة من محتواها من الورق المدوَّر بعد استعماله من المستهلكين بحلول نهاية عام ١٩٩٤، ويرتفع هذا المحتوى إلى ٣٠ بالمائة بحلول عام ١٩٩٨[٣٨].

كما أن هناك الآن معايير للحد الأدنى من المحتوى المدوَّر للمطبوعات الإخبارية في ١٣

ولاية؛ وتناقش ١٥ ولاية أخرى اتفاقات طوعية مع ناشري الصحف من أجل زيادة شرائهم من المحتوى المدوَّر. وأصبحت كليفورنيا مختبراً لأكثر الجهود المركزة في أمريكا الشمالية لتطوير الصناعات التدويرية. فقد أنشأت الولاية ٤٠ منطقة لتطوير أسواق التدوير - وهي مناطق مشاريع موجهة لتطوير الأعمال التي تتخذ التدوير قاعدة لها[٣٩].

وتقتفي دول أخرى هذا الأثر. فقد فرضت بلجيكا، على سبيل المثال، «ضريبة بيئية» على الورق المقوّى المستخدم في تغليف الأغذية، ولكن يجري الإعفاء من هذه الضريبة إذا كان الورق المقوى مصنوعاً من المواد المدوَّرة. كما فتحت شهية الدول الأخرى على ورق النفايات. فقارة آسيا مستورد كبير للخردة التي ينشأ جزء كبير منها في الولايات المتحدة وألمانيا. وبحلول عام ١٩٩٢، أصبحت تايوان أكبر مستورد في العالم، واستخدمت في صناعتها ٩٨ بالمائة من المواد المستعلمة في إنتاجها الورقي. ووصلت الدنمارك إلى ٩٧ بالمائة والمكسيك ٨١ بالمائة وتايلند ٨٠ بالمائة في هذا المجال[٤٠].

وكما هي الحال في تدوير الفولاذ ومصادر الفولاذ الخردة، تقيم شركات صناعة الورق الآن ورش عمل بالقرب من أفضل مصادرها للمواد الخام: المدن والصناعات التي تنتج النفايات الورقية. وتقوم هذه الشركات بتوقيع العقود طويلة المدى مع المدن والشركات الخاصة لشراء الورق المستعمل بنفس الطريقة التي كانت تشتري بها حقوق ملكية النفايات الورقية. والتحدي الذي تواجهه أية شركة هو حصولها على أكبر عدد من العقود للنفايات الرخيصة حتى تحافظ على الأسعار منخفضة والنفايات بعيدة عن أيدي الشركات المنافسة. وهذا يجعل الكثير من الشركات تغيّر من مواقعها[٤١].

بدأت المجتمعات التي كان لديها بعد النظر لإقامة برامج التدوير القوية قبل سنوات قليلة في جني ثمار هذا العمل.

إن حجم المواد (من النفايات) كبير. ففي معظم الدول الصناعية، يبلغ حوالي ٦٠ بالمائة من حجم المواد التي يجري دفنها من الورق المقوى. وهكذا فإن باستطاعة الورق المستعمل أن ينافس الخشب الذي يقطع من مزارع الأشجار ويصبح المصدر المسيطر، وعندها لن تعود هناك أية حاجة على الإطلاق لأخشاب الغابات القديمة كاملة النمو. وفي الوقت الحاضر، على أية حال، يستخدم حوالي ١٥-٥٠ متر مكعب من الماء في كل طن من الورق المدوَّر لازالة الحبر. ولا بد من تخفيض هذه الكمية إذا أُريد إقامة مصانع التدوير في الأقاليم الشحيحة في المياه. ولحسن الحظ، يجري الآن تصميم تكنولوجيات من المحتمل أن تحسّن من كفاءة مثل

هذا الاستعمال للمياه[٤٢].

ومع ذلك فقد جاءت دفعة قوية أخرى لصناعة التدوير من تكنولوجيات صناعة الورق المحسَّنة. وحتى عهد قريب، لم يكن لدى هذه الصناعة التكنولوجيا اللازمة لجعل الورق المدوَّر يبدو ناعماً ونظيفاً وأبيض بصورة موحَّدة. كذلك كانت الصناعة تخشى من عدم استطاعة الألياف المدوَّرة من الوصول إلى المستويات العالية من النوعية لأنها أقصر وأضعف من الألياف البكر. وعلى أية حال تحسنَّت تكنولوجيات صناعة الورق عالي الدرجة من النوعية من المواد المدوَّرة بدرجة كبيرة على مدى العامين أو الثلاثة الماضية. فقد حسَّنت الطرق الجديدة في إزالة الأحبار عن الألياف وتقطيع هذه الألياف ووضعها على شكل طبقات بهدف الوصول إلى المتانة المثلى من نوعية الورق إلى حدٍ أصبحت عنده درجات المواد المدوَّرة لا يمكن التمييز بينها وبين مثيلاتها من درجات المواد المصنوعة من المواد البكر[٤٣].

وفي الماضي لم تكن صناعة الورق تقبل إلا بالورق عالي الدرجة المفروز بعناية كخامات لصناعة ورق الكتابة المدوَّر. غير أن بعض المصانع الجديدة قادرة على أية حال على صنع الورق عالي الدرجة من خليط واسع من ورق المكاتب التالف. ولا بد لهذا العمل من أن يزيد من محتوى الورق المستعمل في صناعة الورق عالي الدرجة[٤٤].

وبالنسبة لتوليد فرص العمل، فإن هذا التحول من الأخشاب الأولية إلى ورق النفايات أمرٌ طبيعي تماماً ويعكس التحول من الغابات الأولية إلى زراعة الغابات. ففي استراليا، على سبيل المثال، أخذت العمالة في صناعة الأخشاب في الهبوط منذ الخمسينات، في حين ازداد الإنتاج - إذ تم إنتاج أخشاب أكثر بأيدي عاملة أقل. وفقدت ما بين عامي ١٩٦٣ و١٩٨٨ أكثر ٢٠ ألف فرصة عمل في مجال نشر الأخشاب، أي بتخفيض قدرة ٦٠ بالمائة، وحوالي ١٠ الآف فرصة في قطع ورفع الأخشاب، أي بتخفيض قدره ٤٠ بالمائة. ولا يتأتى من قطع الأشجار الأصلية سوى ٥ بالمائة من القيمة التي تضيفها صناعة منتوجات الأخشاب للاقتصاد الاسترالي. أما بقية القيمة التي تأتي من هذه الصناعة لهذا الاقتصاد فهي ناجمة عن صناعة القشرة الخشبية والألواح واللب والورق ومن عمليات نشر الأخشاب. ورغم أن هذه الصناعة في مجموعها توظّف ٥٩٣٠٠ عامل، إلا أن ٦٠٠ منهم فقط يعملون في قطع الأخشاب[٤٥].

وعمليات المعالجة تستهلك عمالة مكثفة أكثر من الاستخراج: وعلى سبيل المثال، فقطع مليون لوح - قدم من ألواح الخشب الأمريكية يولّد ثلاثة وظائف فقط، في حين أن تحويل

هذه الكمية إلى خشب ألواح يولِّد ٢٠ فرصة عمل، وتحويلها إلى أثاث يولِّد ٨٠ فرصة. كما يمكن المحافظة على فرص العمل في إعادة المعالجة إلى ما لا نهاية؛ لأنها لا تعتمد على موارد محدَّدة من المعادن أو الأخشاب القابلة للقطع والجمع. وهذا يعني أن التحول من اللب المصنوع من الأخشاب البكر إلى اللب المصنوع من إعادة التدوير يأخذ الإنتاجَ في طريق مجالات العمالة المكثَّفة بصورة أكبر في العملية التصنيعية، وبعيداً عن المجالات التي أخذت فرص العمل فيها في الضياع[٤٦].

لقد أصبح تدوير الورق أداة حيوية في سبيل استعادة الموازين الطبيعية للغابات في العالم. إذ لا تظل الأشجار منتصبة فحسب ولكنَّ العدد الذي لا يعد ولا يحصى من الكائنات التي تعيش فوقها وتحتها وما بينها ستظل هي الأخرى على قيد الحياة. كما أن قدرة الغابات على تلطيف المناخات المحلية عن طريق امتصاص الماء ثم إطلاقه ستظل قائمة، وقدرتها على تثبت التربة ستستمر، وقيمتها الجمالية سيتم المحافظة عليها.

بعث الدراجات الهوائية والقطارات

رغم أن السيارات التي تسير بالوقود الاحفوري تخلِّف كميات لا يمكن تحملُّها من الكربون في الجو، فقد لا تكون انبعاثات الكربون هي التي ستحدُّ من استعمال السيارات في خاتمة المطاف. فهذه الانبعاثات، على أية حال، يمكن تجنبها بتكنولوجيات مثل المركبات الكهربائية التي تستخدم البطاريات التي تخزن الطاقة الشمسية. وفي خاتمة المطاف، يمكن خزن الطاقة الشمسية في الهيدروجين، الذي يمكنه تسيير السيارات التي لن يكون التلُّوث الصادر عنها سوى الماء المتكوِّن عند اتحاد الهيدروجين مع الأكسجين.

إلا أن القيد الأشد على استعمال السيارات هو المساحات الكبيرة من الأرض المطلوبة لكل سيارة على شكل طرق ومواقف. ويظهر هذا القيد بأوضح ما يكون في آسيا، التي تضم ما يقرب من نصف سكان العالم ولكنها لا تمتلك سوى حوالي ثلث أراضي المحاصيل في هذا العالم. ووضع سيارة واحدة في كلّ موقف (كراج) في الصين والهند سيعني استخدام أراضٍ هناك بحاجة لاستعمالها لأغراض أخرى، وبخاصة لأراضي المحاصيل. ففي الصين، يصل نصيب الفرد الواحد أقل من ٠,٨ هكتار من أراضي الحبوب في المعدَّل، وبإضافة كمية من الأسمنت المسلَّح تكفي لموقف سيارة واحدة ومساحة من الطريق لكل أسرة سيؤدي إلى تخفيض تلك النسبة بما يكفي لسد الفجوة بين الغذاء الكامل والغذاء غير المناسب[٤٧].

ولا يبتلع نظام النقل المرتكز على السيارة الأرض في الريف فحسب، بل يؤدي إلى الاختناقات المفرطة والتلوث في المدن. وقامت بانكوك - تايلند، بتعبيد طرق فوق معظم قنواتها المشهورة في محاولة لتخفيض اختناقات المرور الحادة فيها. ولكنَّ هذه المدينة تضيف حوالي ٦٠٠ سيارة جديدة كل يوم إلى مجرى حركة المرور، أو ما يساوي ٣ كيلومترات من السيارات لو وُضعت كل واحدة ملاصقةً وراء الأخرى. وعلى هذه الوتيرة سيكون قد أضيف عدد من السيارات في أقل من أربع سنوات لملء نظام الطرق بأكمله بالسيارات لو صُفَّت كلها في اتجاه واحد - وهذا معدل لا يمكن أن يستديم من الناحية الفعلية والذي يمكن لأي سائح مشاهدته[٤٨].

وعوضاً عن الاعتماد المفرط على السيارات، فإن من المحتمل أن يتم تلبية حاجات نقل الأفراد في الدول المزدحمة في المستقبل بنجاح بعملية مشتركة من النقل بالطرق الحديدية والدراجات الهوائية. وبالنسبة للناس في دول مثل الولايات المتحدة، الذي اعتادوا على التفكير في السيارات كما لو كانت أسلوب النقل الجدِّي الوحيد، فإن هذه العملية المشتركة تبدو غير مناسبة. وفي الحقيقة فإن الدراجات تهيمن الآن بالفعل على النقل الآسيوي، كما حدثت بعض أكثر أنواع التقدم التكنولوجي اثارة مؤخراً في مجال الطرق الحديدية مثل القطار «الطَلْقَة» في اليابان وقطار الحركة السريعة في فرنسا.

ويقوم العالم بصنع عدد من الدراجات يفوق ثلاثة أضعاف عدد ما يصنَعُهُ من السيارات (انظر شكل ٥-١ في الفصل الأول). وتنقل الدراجات في آسيا وحدها عدداً من الناس يفوق عدد أولئك الذين تنقلهم جميع السيارات في العالم. وبالإضافة إلى ذلك فإن إنتاج السيارات لا يتزايد ويُصنع عدد من السيارات الآن أقل مما كان يصنع في عام ١٩٨٩، في حين أن إنتاج الدراجات في ازدياد سريع. وأنتج العالم من الدراجات في العام الماضي ضعف الكمية التي كان ينتجها في بداية الثمانينات، وأكثر مما كان ينتجه في بداية التسعينات بنسبة أكثر من ٢٠ بالمائة[٤٩].

وفي بعض الدول الأوروبية، تشكِّل الدراجات جزءاً هاماً من نظام النقل الشخصي. ففي الدانمارك تجرى رحلة من بين كل خمس رحلات على الدراجات. وفي هولندا، يذهب طفلان بين كل ثلاثة أطفال إلى المدرسة على دراجاتهم، وفي إحدى المدن الالمانية، يمثل استعمال الدراجات ٤٠ بالمائة من رحلات الذهاب للعمل. وزيادة على ذلك، فإن هذه المعدلات العالية من استعمال الدراجات تحدث في دولتين تستطيعان بكل سهولة استعمال السيارات ولكنها فضَّلت الدراجات عليها. وفي الدول الأوروبية الأخرى التي تعتمد على الدراجات

بدرجة أقل، فإن إمكانية استخدام الدراجات هي إمكانية هائلة. ففي بريطانيا، على سبيل المثال، فإن ثلاثة أرباع جميع الرحلات هي أقل من تسعة كيلومترات، وهذا شيء مثالي للدراجات، ومع ذلك فلا تتم سوى ٣ بالمائة من هذه الرحلات على الدراجات. وقدَّرت إحدى الشركات البريطانية أنه لو وصلت نسبة السفر بالدراجات هناك إلى المستوى الذي وصلته في دول مثل هولندا والدانمارك، فإن نسبة التلوث الناجم عن أول أكسيد الكربون وأكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكربون ستنخفض بنسبة ١٠ بالمائة[٥٠].

من المحتمل أن يتم تلبية حاجات نقل الأفراد في الدول المزدحمة في المستقبل بنجاح بعملية مشتركة من النقل بالطرق الحديدية والدراجات.

ولم تصل القطارات فائقة السرعة مثل القطارات «الطلقة» في اليابان وقطار الحركة السريعة في فرنسا بعد إلى معظم أقاليم العالم. وعندما تفعل ذلك، فإنها ستكون إيذاناً بنهضة (أو بعث جديد) للقطارات. وستأتي أكبر التحسينات في تكنولوجيا الطرق الحديدية، على أية حال، مع القطارات التي لا تلامس السكك التي تجري عليها. وتحمل مجموعة التكنولوجيات التي تُعلّق القطارات في الهواء وترشدها بالقوى المغناطيسية في ثناياها إمكانية قذف القطارات بسرعات مثيرة. وعلى سبيل المثال، تحققت سرعة ٥١٧ كم (٣٢١ ميل) في الساعة منذ عام ١٩٧٩[٥١].

ويستفيد الربط المشترك بين القطارات والدراجات من قدرة الدراجات على السفر في أي اتجاه وفي أي وقت، ومن قدرة القطارات على نقل الناس بسرعة عالية. والناس الذين لا يستطيعون امتلاك السيارات بإمكانهم تحمّل السفر على الدراجات والقطارات، وكل منهما (أي الدراجات والقطارات) لا يحتاج سوى القليل من الأرض. واليابان وهولندا متقدمتان بشكل خاص في أنظمتهما القائمة على الدراجات/ القطارات في نقل الناس من وإلى أعمالهم وبيوتهم، وتأخذ ألمانيا في اقتفاء أثرهما[٥٢].

على أية حال، ليست كل الدول تؤيد الربط بين الدراجات والقطارات. وهذا أمر مفاجيء في الصين بصورة خاصة، وهي الدولة التي تضمُّ أكبر تركيز للدراجات في العالم والدولة التي لا يستطيع معظم الناس فيها سوى تحمُّل السفر بالقطارات. وحتى عهد قريب، كانت الصين قد حققت ما لا تستطيع سوى القليل من الإدعاء بأنها حققته. إذ عن طريق صناعة ما يقدر بـ ٤٣ مليون دراجة في عام ١٩٩٤، لم تطلق الصين سوى القليل، وربما لا

شيء على الاطلاق، من الكربون في الجو، نتيجة لإضافتها لهذا الخيار من النقل الشخصي (أي الدراجة)، وهو إنجاز لا تستطيع أية دولة في أوروبا أو أمريكا الشمالية والقليل من دول شرق آسيا التفاخر به. وهو إنجاز أخذ يصبح على درجة كبيرة من الأهمية بصورة متزايدة[٥٣].

لو أن الكثيرين من الـ ١,٢ بليون إنسان في الصين قاموا بشراء السيارات، فإن الطرق ستصل إلى توقف تام بسبب إغلاق شبكة هذه الطرق تماماً.

ومع ذلك، فإن السياسة الرسمية في الصين اليوم تحبِّذ استخدام السيارات. ولا تملك الصين حالياً سوى ١,٨ مليون سيارة، أقل من ٥ بالمائة منها مملوكة ملكية خاصة. ولما كانت الحكومة تنظر إلى السيارات كجزء أساسي من «عملية التطوُّر»، فقد قامت بالحدِّ من أعداد الدراجات المسموح دخولها إلى بعض الشوارع، لتفسح المجال لمزيد من السيارات. فقد منعت مدينة غوانغ زهاو (Guangzhou)، في الصين الجنوبية، الدراجات من دخول ١١ شارع رئيسي في ساعات الذروة المرورية، على سبيل المثال. كما تُمنع الآن الدراجات من الصعود على الأرصفة في شنغهاي. ولسوء الحظ، فإن هذا تحوُّل في الاتجاه المعاكس للاستدامة[٥٤].

وبتمويل من النمو الاقتصادي السريع، أخذت السيارات تكرِّس نفسها للطرق في الصين، وتتطلّع الكثير من الأسر إلى امتلاك واحدة منها. وأصبحت المدن مختنقة بحركة المرور، وبالإضافة إلى التلوث الناجم عن مصانع إحراق الفحم والناجم عن تدخين السجائر، أدى عادم السيارات إلى جعل الأمراض التنفسية السبب الرئيسي في الوفيات في الصين. وهذه الزيادة في الاعتماد على السيارات لا يمكن أن تستمر إلى الأبد. ولو أن الكثيرين من الـ ١,٢ بليون إنسان في الصين قاموا بشراء السيارات، فإن الطرق ستصل إلى توقف تام بسبب اغلاق شبكة هذه الطرق تماماً، كما أن تكاليف التلوث والاصابات المميتة الناجمة عن حوادث المرور سيكونان سبباً في تحريم استعمال السيارات[٥٥].

والأهم من ذلك، مع ذلك، تسعى الحكومة الصينية إلى حماية أراضي الحبوب، لعدم رغبتها في استيرات كميات كبيرة من الحبوب أو القطن أو غيرهما من المحاصيل. ومنذ أواخر الثمانينات والبلاد تخسر واحداً بالمائة سنوياً من أراضي الحبوب فيها[٥٦].

وثمة سياسة أخرى هامة هي المحافظة على فرص العمل وخلق المزيد منها وبخاصة في بلاد كالصين لديها أعداد غفيرة من الناس تحتاج إلى ايجاد عمل لهم. وفي الوقت الحاضر، لا

تُتاح هناك أية دراسة حول فروق العمالة بين إنتاج السيارات وإنتاج الدراجات. ويبدو من المؤكد، على أية حال، أن صناعة السيارات الأكبر حجماً والأكثر تعقيداً تنطوي على فرص عمل أكثر بكثير مما توفِّره صناعة الدراجات. ومع ذلك، فلا يعني هذا بالضرورة أن الاقتصاد القائم على الدراجات سيفتقر إلى فرص العمل. فالأموال التي يوفِّرها المستهلكون من تلك التي لا ينفقونها على السيارات والتي لا تستثمر في صناعة السيارات ستذهب عوضاً عن ذلك إلى صناعات أخرى، وتؤدي إلى خلق فرص عمل في تلك المجالات. وهذا سيؤدي إلى توسع في قطاعات اقتصادية في البلاد والتي هي الآن فاقدة الأمل في الحصول على الاستثمارات.

وبدلاً من شراء السيارات من الخارج، تستطيع الكثير من الدول النامية استعمال الدراجات وتستثمر الأموال التي توفرها في الصناعات التي تصدِّر منتوجاتها هي أو التي تنتج السلع للاستهلاك المحلي. وزيادة على ذلك، فإن اعتمادها الأقل على الغازولين، الذي تستورده معظم الدول النامية، يحرِّر المزيد من الأموال للاستثمار. كما أن المساحات الأرضية التي لا تخصص لمواقف السيارات يمكن استعمالها عوضاً عن ذلك في المناطق الحضرية للأعمال التجارية أو المساكن. ذلك لأن جزءاً كبيراً من الإنفاق الحكومي وانفاق الصناعات يذهب لصيانة البنية التحتية للسيارات، وتحرير هذه الأموال من شأنه أن يسهم بجزء كبير من الاستثمار الذي تحتاجه الدول في مختلف أنحاء العالم.

وتشبه المكاسب التي تتأتى من كفاءة نظام النقل ومن تخفيض الإنفاق على النقل تلك التي تتأتى من كفاءة الطاقة المحسَّنة. فقد نجحت دول مثل اليابان والمانيا في العقدين الأخيرين في إنفاق أموال أقل على الطاقة من معظم الدول المنافسة لها. والآن، يمكن للدول التي تنفق أقل على كل من الطاقة والنقل الشخصي أن تستفيد من الفرص الأخرى المتاحة أمام أموالها.

وهذا الوقت هام بصورة خاصة لدول آسيا مثل الصين والهند. فهي تقف على أعتاب تطوير أنظمة لنقل الأفراد على نطاق واسع، ولكنها لم تبتعد كثيراً حتى الآن في سيرها في الطريق الخاطىء كي تحدث تغييراً في هذا المسار. فأمريكا الشمالية وأوروبا حَبَسَتا نفسيهما في الاعتماد على السيارات ولسوف تناضلان من أجل الخلاص منه لو حاولتا فعلاً مثل هذا الانتقال. ولكن آسيا لا زالت في معظمها مهيأة لنظام نقل أكثر استدامة وتستطيع زيادة تطوير دراجاتها وقطاراتها بنجاح كبير.

وبالبدء الآن بتكنولوجيات الطرق الحديدية المثيرة من اليابان أو فرنسا أو غيرها من

الدول على سبيل المثال، تستطيع الهند أن تضع نفسها في سنوات قليلة حيث سيتمنَّى الناس في الكثير من الدول الأكثر ثروة أن يكونوا، وعن طريق المحافظة على شبكة دراجاتها تستطيع الصين المحافظة على أراضي محاصيلها، وأن تخفِّض من تلوث هوائها وتهدىء من الضوضاء في مدنها. وستكون هذه كلها خطوات على طريق التنمية المستديمة.

المصنع الخالي من الانبعاثات

التحفة الرائعة في الصناعة المستديمة هي المصنع الذي تكون انبعاثاته صفراً (أي الخالي من الانبعاثات). ومثل هذا المصنع ينتمي للمستقبل، إذ لم تجر سوى حفنة من المحاولات لتشغيل مصانع من هذا القبيل. وهي تمثل موضوعاً مغرياً من موضوعات البحث، لأنها ستؤدي إلى تخفيض تكاليف الإنتاج حتى بمجرد القضاء على التلوث وتكاليف تنظيفه. ومن وجهة نظر الدعاية والعلاقات العامة، فإن المصنع الخالي من الانبعاثات سيكون ضرباً من العبقرية في وقت أصبح فيه الكثيرون من المستهلكين يرغبون في اختيار المنتجات لا على أساس نوعيتها فحسب بل على أساس طريقة إنتاجها. وكما قال ويليام ماكدونف (William Mc Donough)، عميد كلية العمارة بجامعة فيرجينيا: «لن يكون الأمر عندئذ كما يقال من المهد إلى اللحد، بل من المهد إلى المهد»[٥٧].

ويمكن لمفهوم المسؤولية من المهد إلى المهد عن المنتجات أن يسبِّب بعض المشاكل في أماكن أخرى في دورة حياة منتج ما. فإحلال الفولاذ محلَّ البلاستيك في السيارات يمكن أن يحسِّن من عملية إعادة التدوير، على سبيل المثال، ولكنه سيزيد من وزن السيارة مما يعني استهلاك المزيد من الوقود أثناء قيادة المركبة. ونتيجة لذلك، فإن التفكير في مثل هذه الصناعة المستديمة والتخطيط لها يتطلب تعاوناً بين مختلف العلوم والصناعات. ولكن النجاح الأكبر لن يتحقق إلا من خلال مثل هذا التفاعل.

وبدأ مؤخراً البحث في مثل هذه التسهيلات في جامعة الأمم المتحدة في طوكيو، بمبادرة للبحث في الانبعاثات الصفرية (أو الخلوِّ من الانبعاثات (Zero Emissions Research Initiative). والتركيز هو على كيفية استعمال الإنتاج لجميع العوامل المُدْخَلة، وهو نوعاً ما يشبه ما تقوم به المجتمعات التقليدية منذ زمن طويل باستخدام جميع أجزاء أي حيوان تستهلكه أو كيفية استخدامها لكل مكوِّنات محاصيلها. وقدَّمت أكاديمية العلوم الصينية دراسة عن الانبعاثات الصفرية في الصناعة التخميرية. كما تُجرى مشروعات على طرق جديدة لإنتاج الدهانات والأصباغ وغيرها من المواد التي تحتاجها الصناعة[٥٩].

ووجد غير ذلك من البحوث حلولاً لأجزاء كثيرة من هذا اللغز، الذي سيؤدي حلُّه كله إلى إقامة المصانع الخالية من الانبعاثات. فقد تقدمت الأبحاث حول الأصباغ التي لا ينجم عنها تلوث كيماوي على سبيل المثال، واكتشفت أصباغ يمكنها تلوين الصوف ونسيج «الرامي» (القنَّب السيامي) وبعد ذلك تتحلل فيما بعد في التربة دون أن تسبِّب أي ضرر[٦٠].

كما تجري صناعة أصباغ لا تستخدم سوى مذيبات أقل وتنتج انبعاثات أقل. ولا زالت الأصباغ مسؤولة عما يقدَّر بـ ٨ بالمائة من المركبات العضوية المتطايرة التي تطلق في الجو، على الرغم من التخفيضات التي جرت عليها في السنوات الأخيرة. وتحاول رابطة أبحاث الأصباغ في انجلترا وجامعة ساوثامبتون تركيب نوع جديد من الأصباغ يعتمد على الطريقة التي تقوم بها الحشرات بصنع هيكلها الخارجي الواقي القاسي من المواد التي تذوب في الماء. والهدف من ذلك تصميم بوليمرات ذات مكونات جاذبة للماء وطاردة له، بالإضافة إلى سلاسل تعمل كمشابك لاصقة. وهذا سيسمح باقامة مصانع ومنتجات بانبعاثات منخفضة[٦١].

المصانع الخالية من الانبعاثات أماكن عمل أكثر بهجة، ويقدِّر العاملون فيها عملهم عالي القيمة حقَّ قدره.

واستعادة المعادن الثقيلة هام بصورة خاصة بسبب الضرر المحتمل على صحة الإنسان والأنظمة البيئية الذي تنطوي عليه. وبالنسبة لمعدن الكادميوم، أمكن استعادة ١٣٠٠ طن من ١٦ ألف طن يحتمل وجودها في عام ١٩٨٦ . (وهي أحدث سنة تتاح عنها بيانات) بينما تسرَّب الباقي منها في البيئة. أما بالنسبة للرصاص فقد أمكن استعادة ١٠٦ الآف طن من ١٨٩ ألف طن من النفايات الصناعية. وشكَّلت بطاريات الخزن الآلي معظم الكمية المستعادة، نظراً للتمكن من جمع ٩٥ بالمائة منها وإعادة معالجتها. ولكن بعض أهم أشكال الاستعادة على الاطلاق ستحدث في المصانع التي لا تسمح للرصاص وغيره من المعادن الثقيلة بالانفلات. إذ ستقوم هذه المصانع بتصميم منتجات لا تحتاج إلى هذه المعادن إما للمواد اللازمة لها (أي للمصانع) أو اللازمة لمنتجاتها؛ أو التي ستقوم على استعمال العمليات ذات الدوائر المغلقة التي تعيد استعمال أو احتباس جميع المعادن الثقيلة[٦٢].

ويعطي تخمير البيرة مثالاً على عمليات التصنيع التي تستخدم الدائرة المغلقة. فالحبوب المستعملة في إنتاج البيرة لا قيمة لها لأصحاب مصانع البيرة، ولكنها تمثل طعماً ممتازاً لتربية الديدان الأرضية التي تشكل علفاً عالي الجودة للدواجن. وبالمثل، فإن مخلَّفات عملية التخمير يمكن استعمالها لعمل المشروبات الأخرى وصلصة الصويا أو الخل، الأمر الذي

يسمح باستعادة جميع المخلّفات دون الحاجة إلى كميات كبيرة من الطاقة. وبطبيعة الحال، لا بد من الاستثمار قبل استكمال هذه العمليات. ولكن متى تم هذا الاستثمار، فإنه يولّد دخلاً إضافياً من المنتجات الأخرى للتعويض عن المال الذي تم صرفه. وتستخدم هذه الطريقة حالياً من قبل صانعي الخمور في ناميبيا وتنزانيا وفيجي، من بين أماكن أخرى[٦٣].

وليس من الواضح فيما إذا كانت المصانع الخالية من الانبعاثات ستولد فرص عمل أكثر أو أقل من المصانع القائمة في الوقت الحاضر. ولكنَّ ما هو واضح، مع ذلك، هو أن هذه المصانع الخالية من الانبعاثات أماكن عمل أكثر بهجة، ويقدِّر العاملون فيها عملهم عالي القيمة حقَّ قدره. ففي مدينة رينو (Reno)، نيفادا، بدأ مكتب البريد بإدخال تحسينات وفق هذه التوجهات عندما أحضر تجهيزات ضوئية أكثر كفاءة وخفَّض السقف لتدفئة وتبريد المبنى وتحسين أجهزة السماخ. واستجاب عمال البريد لهذه التحسينات بزيادة إنتاجيتهم بنسبة ٦ بالمائة وتخفيض في أخطاء فرز البريد - وهي فوائد لم تكن متوقعة تماماً من المستثمرين، الذين كان هدفهم الأصلي هو تحسين كفاءة الطاقة. وتبين من ذلك أن الإضاءة الأكثر بهجة ومكان العمل الأكثر هدوءاً هما أمران هامان لإنجاز الأعمال[٦٤].

بل إن مكاسب أكبر في الإنتاجية وتحسينات على الروح المعنوية حظيت بها شركات طيران الفضاء والكثير من الصناعات الأخرى. ومع ذلك فإن هذه التغييرات تقصِّر عن ادراك التحسينات الشاملة اللازمة للمصانع الخالية من الانبعاثات. وسوف تخبرنا الأبحاث والاستثمارات المستقبلية عما إذا كانت الإنتاجية والروح المعنوية سترتفعان حتى إلى مستويات أعلى مع تقدُّم تطوير هذه المصانع[٦٥].

والمصنع الخالي من الانبعاثات، أو الذي يعمل بالدائرة المغلقة له ما يشبهه في مناخ الأرض، فمع تطوره، لم يكن المناخ على الدوام في حالة التوازن التي حققها اليوم. وقد أنتجت الخلايا الحيَّة الأولى على الأرض ثاني أكسيد الكربون بنفس الطريقة التي تنتجه الخلايا اليوم. ولكنه لم توجد كائنات أخرى لتحويل ثاني أكسيد الكربون ثانية إلى الغازات الأكثر كالأكسجين. وقد كان من الممكن لها أن تختنق في نهاية الأمر نتيجة لتراكم ثاني أكسيد الكربون لولا تطوُّر الدائرة المغلقة واستقر النظام في خاتمة المطاف مع ظهور الكائنات الجديدة مثل الطحالب الزرقاء - الخضراء القادرة على إعادة تدوير ثاني أكسيد الكربون إلى سكَّر وسيليلوز، مكمِّلة بذلك دورة الكربون[٦٦].

ويشير روبرت أيرز (Robert Ayres)، العالم البيئي، إلى أن النظام لم يكن قد استقر عند

ذلك الحد. ولم تكتمل دورة الأكسجين إلا مع تطوّر عمليتين بيولوجيتين أخريين - التنفس الهوائي والتمثيل الضوئي الهوائي - مع تحوّل الأكسجين إلى ثاني أكسيد الكربون والعكس بالعكس. وكان لا زال على العمليات البيولوجية الأخرى مثل النترجة (nitrification) وإزالة النترجة (denitrification) أن تظهرا لاستكمال دائرة النيتروجين والدوائر الأخرى[٦٧].

لقد استجاب التطور لأوضاع غير مستقرة - الدوائر المفتوحة - عن طريق خلق كائنات جديدة لتعمل على استقرار النظام باستكمال الدوائر. ولكنَّ ذلك استغرق بلايين السنين قبل أن يصل المحيط الحيوي إلى درجته الحالية من الاستقرار. أما في حالة نظام الصناعة الحالي، فإن مقاييس الزمن قد قصرت بصورة هائلة. فالنشاطات البشرية تهيمن بالفعل على العمليات الطبيعية من مناحي كثيرة. ويتوجَّب على العالم الآن أن يجد السبل على وجه السرعة لاستكمالِ دوائر الإنتاج فيه، سواء أكان ذلك في مصنع بمفرده، في السوق لمنتج أو مادة معيَّنة، أو في الاقتصاد ككل.