أخلاقيات وسياسات التكنولوجيا النانومترية

منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة

The designations employed and the presentation of material throughout the publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNESCO concerning the legal status of any country, city or area or of its authorities, or concerning its frontiers or boundaries.

Published in 2006
by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
7, place de Fontenoy, 75352 PARIS 07 SP

Graphic design: Anna Mortreux

© UNESCO 2006
Printed in France

SHS-2007/WS/3 - 488.7

أخلاقيات وسياسات
التكنولوجيا النانومترية

أعد هذا الكتيب بفضل مساندة وخبرة الدكتور كريستوفر م. كيلتي
من جامعة رايس بالولايات المتحدة الأمريكية

منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة

المحتويات

١ مقدمة ٣

١,١ اليونسكو والتكنولوجيا النانومترية ٣

١,٢ ما هي التكنولوجيا النانومترية؟ ٤

١,٣ تاريخ التكنولوجيا النانومترية ٧

٢ الحالة الراهنة للبحوث المنفذة في مجال التكنولوجيا النانومترية ١١

٣ التبعات الأخلاقية والقانونية والسياسية للتكنولوجيا النانومترية ١٣

٣,١ الأبعاد الدولية للتكنولوجيا النانومترية ١٣

٣,٢ السُمية والتبعات البيئية للتكنولوجيا النانومترية ١٤

٣,٣ إلى جانب تقييم المخاطر ثمة قضايا أخرى تستحق العناية ١٧

٣,٤ أخلاقيات العلوم ١٧

٣,٥ سيناريوهات تشتت الأنظار

– قضايا تصوّر على أنها قضايا أخلاقية ١٩

٤ الخلاصة ٢١

٥ الملحق ٢٢

فهرس بأحدث التقارير عن التكنولوجيا النانومترية ٢٢

١ مقدمة

تُطالعنا التصريحات والعناوين الصحفية المتناقضة الآتية: التكنولوجيا النانومترية يمكنها أن تغدو أشد القوى تأثيراً على الصناعات التكنولوجية. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تزيد من سرعة شرائح الذاكرة، وتزيل جسيمات التلوث من الماء والهواء، وتكشف الخلايا السرطانية بأسرع من ذي قبل. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تفلت من دائرة تحكمنا وتحمل في طياتها فنائنا كبشر. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تخفف من وطأة الجوع في العالم، أو تنظف البيئة، أو تعالج السرطان، أو تضمن إطالة الأعمار آماداً مديدة، أو تنتج أسلحة رهيبة تثير رعباً لم يشاهده أحد من قبل. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تصبح بمثابة الأسبستوس الجديد. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تنهض بالتنمية الاقتصادية من خلال نتائج البحوث. يمكن للتكنولوجيا النانومترية الإضرار بفرص الفقراء في البلدان النامية. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن توحد حجم جزيئات الآيس كريم. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تجعل آلة التصوير تعمل في الظلام. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تزيل النفايات السامة على المستوى الذري. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تقلب العالم رأساً على عقب. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تصبح أداة للإرهاب. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تقود إلى الثورة الصناعية القادمة. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تحدث تحولاً في الصناعات الغذائية. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن ترتق طبقة الأوزون. يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن تغيّر كل شيء.

كل هذه تصريحات حقيقية مأخوذة من عناوين صحفية تبدأ جميعها بعبارة «يمكن للتكنولوجيا النانومترية أن ...». فما الذي نستطيع فعله بهذا الخليط المتناقض من الوعود والتحذيرات؟ وكيف يمكن لشيء واحد أن ينطوي على مثل هذا القدر الهائل من الإمكانيات. كيف نتعامل مع الحقائق في ظل الحماس المفرط لخبراء العلاقات العامة والصحفيين؟ في الحقيقة، ورغم تلك الوعود الباهرة، فان هناك شيء معيّن يميز التكنولوجيا النانومترية، وهناك قضايا عديدة ذات اعتبارات محددة يجب أن تشكل الشغل الشاغل للمواطنين والسياسيين والعلماء ورجال الأعمال المهتمين بهذا المجال. فمن أجل تقييم الجوانب الأخلاقية والقانونية والسياسية للتكنولوجيا النانومترية، من الضروري التمييز بين ما تنطوي عليه من إمكانيات يمكن التحكم فيها وإمكانيات لا يمكن تقدير أبعادها. إن هذه الوثيقة توضح ماهية علم التكنولوجيا النانومترية وتعرض عدداً من القضايا الأخلاقية والقانونية والسياسية، ذات العلاقة، التي سيواجهها المجتمع الدولي في المستقبل القريب.

١,١ اليونسكو والتكنولوجيا النانومترية

إن تطور العلوم والتكنولوجيا يحدث تغييراً عميقاً في حياة الإنسان. فالتكنولوجيا تجعل الحياة أكثر أماناً وأقل صعوبة. وقد أحدثت العلوم الطبية تحسناً ملحوظاً في صحة المواطنين، كما وأسهمت في تحسين الصحة العامة. هذا وزادت تكنولوجيا المعلومات من إمكانيات ونطاق الاتصال بين البشر. واستحدثت العلوم الإيكولوجية سبلاً أكثر استدامة للإنتاج والاستهلاك. أما علوم الحياة فما زالت تخترع منتجات جديدة وتبتكر عقاقير جديدة. وتتقاطع التكنولوجيا النانومترية مع جميع هذه الميادين، كما وتثير كثيراً من المسائل الأخلاقية التي سبق أن أثارتها تلك الميادين. فعلى سبيل المثال من الممكن أن يعود العلم بالنفع على الإنسان، ولكن على أية فئة يعود هذا النفع في الوقت الراهن؟ يجري تطوير وتشجيع العلوم والتكنولوجيا بقوة في البلدان الأكثر تقدماً وذلك بفضل استخدامها للموارد القادمة من البلدان الأقل نمواً، وعلى الرغم من ذلك، فإننا نجد في الكثير من الأحيان أن النتائج والمنتجات لا تعود بالنفع على هذه البلدان الأقل نمواً. وفي الأساس غدت أنشطة العلوم والتكنولوجيا أنشطة دولية. فالبحوث الطبية مثلاً تطبق في مراكز منتشرة في جميع أنحاء العالم حيث تجري تجارب متعددة وواسعة النطاق. هذا وتنسق في البلدان المتقدمة مشروعات بحثية تجرى على مواطنين ينتمون إلى البلدان النامية. وبالرغم من هذا التنسيق وسعة الانتشار إلا انه بات من الواضح أن المعايير الأخلاقية غير مطبقة دوماً في جميع البلدان. ومن أجل تلافي النقاش في معالجة أخلاقيات العلوم والتكنولوجيا فإن هناك حاجة متزايدة إلى اتخاذ تدابير على المستوى الدولي في هذا المجال.

لقد أدت هذه الاعتبارات إلى تحفيز الدول الأعضاء في اليونسكو الى إيلاء الأولوية للأخلاقيات في برنامج عملها، وعليه، بدأت اليونسكو، منذ السبعينات، بايلاء عنايتها، في مناسبات متفرقة، للأبعاد الأخلاقية لعلوم الحياة ولا سيما علم الوراثة. وفي عام ١٩٩٣ أنشأت الدول الأعضاء «اللجنة الدولية لأخلاقيات البيولوجيا». تضم هذه اللجنة ٣٦ خبيراً، في جميع التخصصات، ومن كافة مناطق العالم، يتولون إصدار توصيات بشأن القضايا الصعبة المطروحة في مجال أخلاقيات البيولوجيا. بناء على طلب الدول الأعضاء، قامت هذه اللجنة، بالمساعدة في صياغة معايير تقنينية من أجل توفير إطار لمبادئ أخلاقيات البيولوجيا يُمكّن جميع

البلدان من الاهتداء به. وفي عام ١٩٩٧، اعتمد المؤتمر العام لليونسكو الإعلان العالمي بشأن المجين البشري وحقوق الإنسان ثم اعتمد في عام ٢٠٠٣، الإعلان الدولي بشأن البيانات الوراثية البشرية. ونظراً للأهمية المتزايدة في مجال أخلاقيات البيولوجيا على الصعيد العالمي، قامت الدول الأعضاء في اليونسكو، مؤخراً (تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٠٥)، باعتماد الإعلان العالمي لأخلاقيات البيولوجيا وحقوق الإنسان. وعياً بأن وضع المعايير التقنينية لن يكون كافياً في حد ذاته لتطبيق المعايير وتفعيلها في السياقات العملية، تم اتخاذ التدابير اللازمة لبناء القدرات في هذا الإطار. كان من بين تلك التدابير، على سبيل المثال، النهوض بتعليم الأخلاقيات، وإنشاء اللجان ذات العلاقة، وتبادل الخبرات في مجال الأخلاقيات.

واتضح أيضاً تزايد الاهتمام بأخلاقيات العلوم والتكنولوجيا، عندما قامت الدول الأعضاء في اليونسكو، عام ١٩٩٨، بإنشاء اللجنة العالمية لأخلاقيات المعارف العلمية والتكنولوجية (كومست). تتولى هذه اللجنة الدولية المؤلفة من ١٨ خبيراً، مسؤولية إسداء المشورة إلى المنظمة بسائر المجالات المتعلقة بالأخلاقيات التطبيقية كأخلاقيات العلوم والبيئة والتكنولوجيا. وعلى وجه التحديد، تتمثل المهام المنوطة «بكومست» في: (١) توفير منتدى فكري لتبادل الآراء والخبرات، (٢) الكشف، استناداً إلى هذا التبادل، عن الأعراض المبكرة لحالات الخطر، (٣) القيام بدور المستشار لصناع القرار في هذا المجال، (٤) العمل على تعزيز الحوار بين الأوساط العلمية وصناع القرار عامة والجمهور. وعلى أساس المهام الموكلة إليها، قامت كومست بتحليل تكنولوجيا المعلومات، وأوجه استخدام المياه والتكنولوجيات الهيدرولوجية، وتكنولوجيا الطاقة والفضاء. وتؤدي اللجنة الدولية لأخلاقيات البيولوجيا وظائف مماثلة ولكنها تركز على البيولوجيا. فهي تعمل الفكر في القضايا الأخلاقية والقانونية التي تثيرها البحوث الجارية في مجال علوم الحياة وتطبيقاتها، كما تشجع تبادل الأفكار والمعلومات ولا سيما عن طريق التعليم.

تستجيب هذه الوثيقة للتفويض المنوط باليونسكو. وينبغي في هذا الإطار، البدء بتحديد وتحليل القضايا الأخلاقية التي تطرحها التكنولوجيا النانومترية، بغية توعية عامة الجمهور، والفئات المتخصصة، وصانعي القرار بالآثار المترتبة على هذه التكنولوجيا الجديدة. ولما كانت التكنولوجيا النانومترية تتطور تطوراً سريعاً فقد بات من الضروري انتهاج أسلوب استباقي في تناول ما تثيره من قضايا أخلاقية. وبدلا من انتظار ظهور الشواغل العامة إزاءها والمناقشات بشأن قضاياها الأخلاقية، أُنشئت اللجنة الدولية لأخلاقيات البيولوجيا وكومست لتقوم بالرصد المستمر للفوائد والأضرار المحتملة للتكنولوجيا الجديدة والناشئة مثل التكنولوجيا النانومترية. وثمة إسهام آخر يمكن أن تقدمه اليونسكو، وهو: تعزيز الحوار بين جميع المعنيين من المنظور العالمي وعلى المستوى الدولي، لتوفير التوصيات لصانعي القرار الذين يواجهون تحديات القضايا الأخلاقية المترتبة على التكنولوجيا المتطورة والناشئة.

١,٢ ما هي التكنولوجيا النانومترية؟

توجد حالياً عشرات التعاريف المختلفة لما هي أو لما يمكن أن تكونه التكنولوجيا النانومترية، وينبغي التنويه بأن الاتفاق على أي من هذه التعاريف لم يتحقق بعد. إذ أن التعاريف لها طابع سياسي وأخلاقي – فمن شأنها أن تحدد ما يهتم به الناس أو يثير قلقهم أو يتجاهلوه أو يستقصون أمره. وتعدد التعاريف مؤشر يدل على أن التكنولوجيا النانومترية (كغيرها من العلوم الناشئة مثل البيوتكنولوجيا) ستثير على الأرجح الغموض التقليدي بين البحوث البحتة والبحوث التطبيقية، وبين البحوث الممولة من الموارد العامة. والبحوث الممولة من الموارد الخاصة. كما أنها ستثير هموماً وأفكاراً متنوعة بين تخصصات معرفية شتى ومؤسسات علمية وطنية حول أثر ما ستؤول إليه التكنولوجيا النانومترية.

ولكن فلنحدد بادئ ذي بدء هل نحن بصدد علم أم تكنولوجيا؟ يُقصد بمصطلح «التكنولوجيا النانومترية» في هذه الوثيقة كلاً من البحث العلمي الأساسي والتطبيقي. هذا مع العلم بأن الكثير من الأشياء التي قد ننعتها بأنها «أساسية» تتطلب أدوات، وممارسات، ومواد، وتقنيات هي في الأصل تكنولوجية (مثل الحواسيب والبرامجيات، والمجاهر المركبة، وأدوات القياس والمعالجة الفيزيائية والكيميائية). وبالمثل فإن الكثير من الأنشطة التي قد نعتبرها تندرج في باب الهندسة، لأنها تتضمن صنع أجهزة أو آلات، يعتبرها العلماء في يومنا هذا ضرباً من «البحث الأساسي» في ميكانيكا الطبيعة. ومن هنا يتضح أن الترابط والتكافل وثيق بين العلوم والتكنولوجيا، في مجال التكنولوجيا النانومترية.

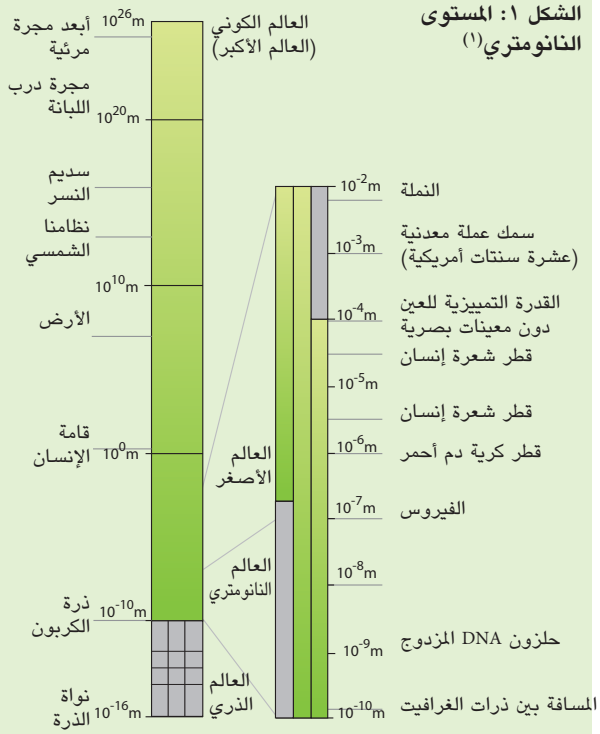
عندما يتعلق الأمر بالتكنولوجيا النانومترية، يغدو التمييز المألوف بين البحث «التطبيقي» و«الأساسي»، أيضاً، صعب المنال. تشجع هذه الصعوبة الناس على الخلط بين البحوث الفعلية التي يجريها العلماء والمهندسون والنتائج التي يتوقعها المراقبون والمناصرون والماليون والعلماء المتحمسون. فعندما يتحدث الناس عن التكنولوجيا النانومترية كثيراً ما يخلطون بين النتائج المتوخاة من فوائدها ومخاطرها المحتملة، وبين الوضع الراهن في

المختبرات والشركات. إن النتائج المتوخاة من العلوم تتعلق بالسياسة الاجتماعية، لذلك يجب أن تكون موضوع نقاش بين جميع المواطنين في جميع البلدان فلا تقتصر على أهل العلم أو السياسة وحدهم. إن هذه النتائج غير حتمية وغير محددة من البحوث الأساسية إلا أنها مضبوطة من قبل البحوث. ومن واجب العلماء باعتبارهم مواطنين، أن يتحدوا وينقدوا النتائج غير الواقعية أو الخطيرة، لا أن يكتفوا باقتراح نتائج وردية. هذا وينبغي أن تتبوأ البحوث في مجال التكنولوجيا النانومترية موقعاً جوهرياً في السياسات الاجتماعية، من منطلق المحافظة على التوازنات وليس للارتكاز عليها في صنع السياسات.

ما هي إذن التكنولوجيا النانومترية؟ ربما كان أبسط وأشمل تعريف لها أنها بحوث تتم على مستوى النانومتر (٩-١٠) أو واحد على مليار من المتر، ولأغراض المقارنة، يبلغ قطر شعرة الإنسان ٠٠٠ ٢٠ نانومتر). فما مدى صغر النانومتر هذا؟ (انظر الشكل ١). إن الجزيئات والفيروسات والذرات تتراوح أحجامها بين أقل من ١ نانومتر (الذرات) ونحو ١٠٠ نانومتر (الجزيئات الكبيرة مثل DNA). وحجمها الدقيق هذا لا يسمح لنا برؤيتها بالعين المجردة، ولا حتى بالمجهر الذي يستخدم الضوء المرئي. وتكمن هنا أهمية تكنولوجيا الإظهار الجديدة مثل المجهر النفقي الماسح، ومجهر القوة الذرية، ليس فقط لرؤية الأشياء ولكن لمعالجتها أيضاً على هذا المستوى الصغير.

ومن الواضح أن هذا تعريف فضفاض للغاية. فقد عالجت الكيمياء والفيزياء والبيولوجيا أشياء على مستوى النانومتر منذ ١٠٠ سنة على الأقل، كما ناقشت بنيتها ومكوناتها بل مسألة وجودها منذ زمن أبعد عهداً. ومن التعاريف ذات المدلول الأكثر تحدياً، مثلاً، التعريف الذي وضعته «المبادرة الوطنية الأمريكية للتكنولوجيا النانومترية» (الإطار ١). ويلاحظ أن معظم ما نعرفه عن كيفية عمل الذرات والجزيئات والعالم الفيزيائي

الشكل ١: المستوى النانومتري[١]



يستند إلى البحوث التي تجرى على مقاييس أكبر (فكّر مثلاً في فيزياء كرة البيسبول أو في صلابة الماس). أما على مستوى النانومتر فإن الخواص التي نلاحظها تكون جد مختلفة. على سبيل المثال، تبدو قطعة الذهب صفراء لعين الإنسان في الضوء الطبيعي، إلا أن جزيئات الذهب النانومترية الحجم (التي تطفو على الماء مثلاً) قد تبدو حمراء لأنها لا تعكس سوى الضوء الأحمر في الطيف؛ كما أن درجة التوصيل الكهربائي للكربون عندما يكون في هيئة أنابيب نانومترية أعلى بكثير من درجة توصيله الكهربائي عندما يكون في هيئة الماس. ويعود السبب في ذلك لاختلاف بنيته على المستوى الجزيئي (على مستوى النانومتر). يمكن استغلال هذه الخواص الجديدة، التي يشير إليها هذا التعريف، في تطبيقات خلاقة – الأمر الذي يفسر الحماس الذي تلقاه التكنولوجيا النانومترية.

الإطار ١

ينص التعريف الرسمي الذي وضعته «المبادرة الوطنية للتكنولوجيا النانومترية» في الولايات المتحدة على أن التكنولوجيا النانومترية تشمل «أنشطة البحث والتطوير التكنولوجي المنفذة على مستوى الذرة أو الجزيئات أو الجزيئات الضخمة، بمقياس يتراوح طوله بين ١ و١٠٠ نانومتر، للتوصل إلى فهم أساسي للظواهر والمواد على مستوى النانومتر، ولاستحداث واستخدام بنى وأجهزة ونظم تتسم، نتيجة لأحجامها الصغيرة أو المتوسطة، بخواص ووظائف جديدة».

وتتنوع التعاريف في أنحاء العالم تبعاً لعناصر القوة التي تتمتع بها الأقطار المختلفة. فالصين واليابان وكوريا تركز على المواد ولا سيما الإلكترونيات، في حين يركز الباحثون في افريقيا وأمريكا اللاتينية في أحيان كثيرة على المواد المتصلة بالطب وعلوم البيئة. أما الجمعية الملكية البريطانية فتميز بين «العلوم النانومترية» و«التكنولوجيا النانومترية» حيث تشمل هذه العلوم «دراسة ومعالجة» الجسيمات على مستوى النانومتر، بينما تشمل التكنولوجيا النانومترية «تصميم، وتمييز خصائص، وإنتاج البنى والأجهزة والأنظمة» على مستوى النانومتر.

(١) نقلاً عن http://invsee.asu.edu/nmodules/sizescalemod/unit3.htm.

فلما كان الذهب يعكس، على مستوى النانومتر، الضوء الأحمر فإن هذه الخاصية تستخدم في تصميم نظم تجريبية تقتل الخلايا السرطانية بالضوء العادي المرئي دون أن تؤثر على الخلايا الطبيعية.

كما أن هناك منظومة أخرى من التعاريف المقترحة للتكنولوجيا النانومترية تتعلق بممارسة التحكم على المستوى النانومتري. إن فهم وملاحظة خواص جديدة للأشياء النانومترية لا يكون مفيداً (بالمعنى الهندسي) إلا إذا أمكن معالجة هذه الأشياء واستغلالها، بتكوين توليفات جديدة من الجزيئيات، والآلات والأجهزة الجديدة، بل وباستحداث مصانع صغرى، إن شئنا أن نطلق لخيالنا العنان. وكثيراً ما يطلق على هذا التعريف للتكنولوجيا النانومترية اسم «التصنيع الجزيئي» الذي طالما ظل موضوعاً جذاباً لكتاب الخيال العلمي على امتداد السنوات العشرين الماضية. إن تعريف التكنولوجيا النانومترية على هذا النحو يجعل النتائج المتوخاة منها أضيق نطاقاً إلى حد بعيد – لأنها تصبح متعلقة بجهود المهندسين والعلماء المنكبين على تصور أساليب بناء كافة أنواع المنتجات والمواد «انطلاقاً من القاعدة» – أي بتخليقها ذرة ذرة من القاعدة إلى القمة باستخدام مصانع نانومترية. وتتمثل فائدة هذا النهج في أنه يتيح مرونة شبه متناهية في خلق مادة أو شيء أو جهاز أو آلة عن طريق البناء ذرة ذرة. أما النهج البديل، أي نهج «من القمة إلى القاعدة– الذي نتبعه حالياً – فيستخدم مواد طبيعية أو مصنّعة تجّمع أو تبنى باستخدام طرائق تتبع لنوع المنتج. ومن الملاحظ أنه لم يتسن لأي عالم، حتى اليوم، صنع مثل تلك الآلات عن طريق الانطلاق من «القاعدة إلى القمة»، وأن العلماء الذين يعملون في هذا المضمار ضئيلو العدد، غير أن هذا لم يحل دون قيام نقاش عام واسع النطاق حول الإمكانية النظرية لتطبيق مثل هذه العملية التصنيعية، وذلك في غياب أي تجربة ذات شأن في هذا المجال[٢]. إن إمكانية تنفيذ التصنيع الجزيئي، وما يرافقه من تهديد محتمل، ما هو إلا قضية هامشية إذا ما قورنت مع القضايا التي ستُطرح في الأجل القريب، وهي القضايا التي يتناولها الجزء الثالث من هذه الوثيقة.

وتعريف التكنولوجيا النانومترية على أنها تتمثل في تصنيع الأجهزة النانومترية، لا في دراسة الأشياء عند هذا المقياس أدى ببعض العلماء إلى اقتراح تعريف آخر – أو إلى إعادة التعريف في هذه الحالة[٣]. إن دراسة البيوتكنولوجيا النانومترية تجعلنا نُعّرف الأجسام النانومترية في مجال الكيمياء والبيولوجيا (أي المعروفة الجزيئيات) بآلات صغيرة. فمثلا أصبح جزيء (ثلاثي فوسفات الأدينوسين – ATP)، وهو عنصر أساسي في الدورة الخلوية لجميع الأحياء، يسمى «محركا نانومتريا». وينطبق هذا أيضاً على الأكتين الداخل في تكوين الثنائي الجزيئي الأكتين/ الميسين المسؤول عن التنبيه الكهربائي الذي يسبب نبضان القلب[٤]. إن إعادة تعريف البيولوجيا والكيمياء على أنهما البيوتكنولوجيا النانومترية قد تبدو مجرد محاولة هزيلة لجذب الانتباه مجدداً إلى العلوم التقليدية، ولكن ينبغي هنا مراعاة الفارق الذي أشرنا إليه أعلاه: فإذا كانت هذه المحركات والآلات البيولوجية الصغيرة تسخّر وتعالج لأداء أشياء لم يتسن معرفتها أو تصورها حتى الآن – كأن يستخدم دنا كملقط أو أن يستخدم جزيء «البرستين» لتحريك ترس صغير – فإن العنصر الأساسي في التعريف يصبح ليس مجرد دراسة المحركات الجزيئية والجزيئات وآلات الحياة وإنما استغلالها.

وفي النهاية، ثمة تعريف آخر للتكنولوجيا النانومترية وهو تعريف مشتق من مفهوم «التقارب بين العلوم النانومترية والبيولوجية والمعلوماتية والمعرفية» (Nano-Bio-Info-Cogno Convergence - NBIC) الذي استحدثته المؤسسة الوطنية الأمريكية للعلوم في الولايات المتحدة.[٥] وتشكل التكنولوجيا النانومترية وفقاً لهذا التعريف، نوعاً جديداً من العلوم ناشئاً عن تلاقي البيولوجيا وتكنولوجيا المعلومات والعلوم المعرفية على المستوى النانومتري. ويعتبر هذا التعريف، على نحو ما، أكثر التعاريف تطرفاً إذ أنه يستهدف الإشارة إلى الطريقة التي ستستخدم بها التكنولوجيا النانومترية من أجل «تحسين الأداء البشري». والواقع أن الكثير من المسائل التي تثيرها دراسة واستغلال الأشياء على المستوى النانومتري تتطلب توافر الخبرة المتخصصة في مجالات متعددة، لذلك لا يوجد حتى الآن سوى قلة من العلماء القادرين، أو من المختبرات القادرة، على العمل عند مستوى هذا «التقارب».

تُعرف الجماعات المختلفة التكنولوجيا النانومترية بطرق مختلفة وفقاً لما تأمل منها تحقيقه من إنجازات – فيما يتعلق بالجسم والطب البشري، أو بالبيئة، أو بمواد جديدة، أو بأشياء بيولوجية جديدة. كما تتنوع أيضاً هذه التعاريف وفقاً لمصالح الأمم والأطراف الاجتماعية المهتمة بالتكنولوجيا النانومترية. ولأن الهوة ما زالت سحيقة بين النتائج المتوخاة والبحوث الراهنة، فإن تعريف التكنولوجيا النانومترية يدور حوله سجال ساخن، باعتباره يشكل جانباً هاماً من الجوانب الأخلاقية

(٢) الاستثناء الوحيد في هذا المقام يتمثل في بناء حواسيب كمية وجزيئية، إلا أن هذه الآلات لا تقوم بتصنيع أي شيء، ولا تعتبر موثوقة أو متينة بقدر يكفي لاستخدامها على نطاق عملي واسع. إنها تثبت إمكانية استخدام أشياء نانومترية كأشباه الموصلات أو الترانزيستورات لأغراض الحساب وتخزين الذاكرة.

(٣) Whitesides,G.M. 2001. The once and future nanomachine. *Scientific American*, Vol.285, No.3, September, pp. 78-83.

(٤) Goodsell,D.S. 2004. *Bionanotechnology: Lessons from Nature*. Hoboken, NJ, Wiley-Liss.

(٥) Roco, M.C. and Bainbridge, W.S. 2003. *Converging Technologies for improving Human Performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. Boston, Mass., Kluwer Academic Publishers*.

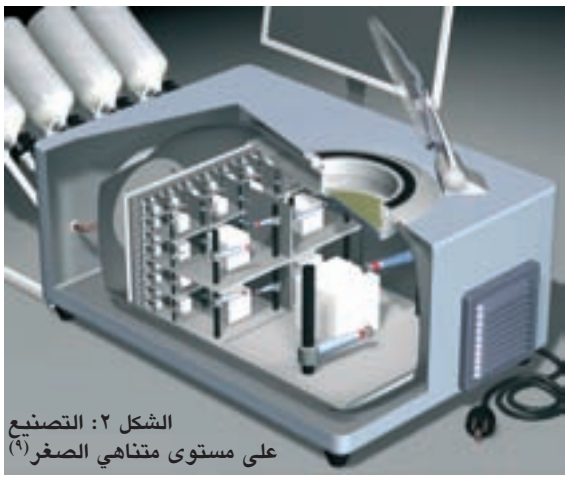
والسياسية للتكنولوجيا النانومترية. وانطلاقاً من معايير الإنصاف والعدل والنزاهة، ترى اليونسكو أنه ينبغي لشتى البلدان، حتى وإن لم تكن منخرطة في بحوث التكنولوجيا النانومترية، أن يكون لها دور في تحديد النتائج المتوخاة، وفي رسم مجرى البحوث الراهنة. ففي غياب هذا الدور، سيُترك أمر تعريف التكنولوجيا النانومترية إلى الشركات والبلدان التي تسعى بأقصى عزمها إلى تحقيق مصالحها الخاصة. إضافة لما سبق فإن من مصلحة مواطني جميع البلدان أن يدركوا في هذه المرحلة المبكرة ما آلت إليه التكنولوجيا النانومترية، وما قد تؤول إليه.

١,٣ تاريخ التكنولوجيا النانومترية

تتباين الاجتهادات في رواية تاريخ التكنولوجيا النانومترية، مثلما تتباين بشأن تعريفها، إذ يمكن أن يروى تاريخ التكنولوجيا النانومترية من زوايا متعددة – وهو هكذا يروى بالفعل – تتنوع فيها الآراء بخصوص منشأ هذه التكنولوجيا والمنعطفات الهامة في مسيرتها.

ولعل المنشأ الذي حظي بأكبر قدر من النقاش، هو محاضرة ألقاها الفيزيائي الشهير ريتشارد فينمان بعنوان «ثمة متسع رحب في القاع» (There's Plenty of Room at the Bottom)،[٦] حيث أطلق فيها الفيزيائي العنان لخياله كي يتصور كافة الطرائق المحتملة لاستخدام تكنولوجيا بناء النماذج المصغرة، وتكنولوجيا الحواسيب والمعلومات، والفيزياء، لاستكشاف العالم دون المجهري. وقد تنبأ فينمان، باندفاعه المعروف، بسلسلة من الأمور التي تصور أن من السهل إنجازها في المستقبل القريب. ولم تزل تنبؤاته، بعد أربعين سنة على إطلاقها، تثير خيال الكثير من المهندسين والعلماء، لكن دون أن يتحقق أي منها بعد. ثم دراسة أخرى، ذات صلة بهذا الحقل، ظهرت في نفس الآونة، ويرجع إليها المعنيون به بين الحين والآخر عنوانها «النظرية العامة والمنطقية للآلات الذاتية الحركة» (General and Logical Theory of Automata) وضعها العالم جون فون نيومان، وجمع فيها بين معارفه في الفيزياء والهندسة وتكنولوجيا المعلومات ليقترح ابتكار آلات تتمتع بحركة ذاتية مستقلة وإن كان لم يقترح صنعها على مستوى نانومتري[٧].

لم يستخدم فينمان ولا نيومان مصطلح «التكنولوجيا النانومترية» عند عرض آرائهما وتصوراتهما. بل راج هذا المصطلح على يد العالم ك. إيريك دريكسلر، وهو صاحب رؤية استشرافية للتكنولوجيا النانومترية طالما وعى إليها بعزم لا يلين، وذلك بعد نشره كتاباً من الكتب التي تتناول «تاريخ المستقبل» عنوانه «محركات خلاقة» (Engines of Creation)[٨]. وقد استخدم دريكسلر هذا المصطلح لوصف رؤيته لعالم يتيح فيه التصنيع الجزيئي إنتاج أي شيء قد يحتاجه البشر – ابتداء من السيارات إلى شرائح اللحم – وذلك بمجرد وضع مخلفات عادمة في صندوق تقوم فيه آلات تجميع نانومترية بإعادة تركيب هذه المواد لتخرجها حسب الشكل المطلوب (انظر الشكل ٢). وقد حمل كتاب دريكسلر بشائر اليوتوبيا ونذائر نقيضها «الديستوبيا»، وإن كان يُذكر اليوم لمحاذيره من الثانية أكثر مما يذكر لوعوده بالأولى. فقد حذّر دريكسلر من أنه في حال تطور هذا الضرب من التكنولوجيا، سيتعين أخذ الحيطة من الانفلات العَرَضي لآلات نانومترية تتمتع بحركة ذاتية مستقلة،



الشكل ٢: التصنيع على مستوى متناهي الصغر[٩]

نموذج تطبيقي مقترح للتصنيع الجزيئي على مستوى متناهي الصغر. تقوم أجهزة صغيرة جداً بضم الجزيئات ثم أجزاء أكبر فأكبر، إلى بعضها بعضاً بموجب عملية تجميع تؤدي في نهاية المطاف إلى الهدف المطلوب كصنع حاسوب يشتمل على مليار من المعالجات. (الأجزاء التي تظهر في الشكل على هيئة مكعبات بيضاء)

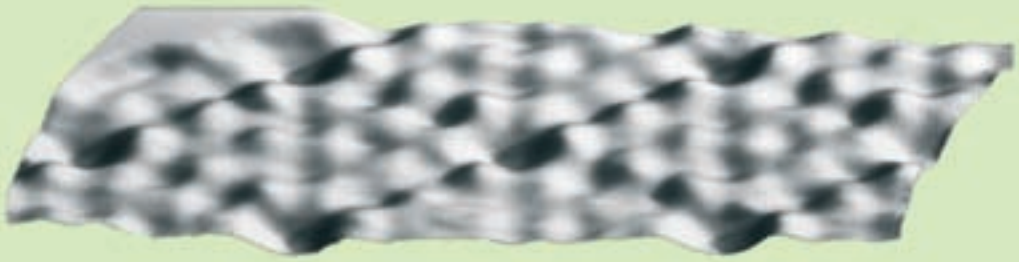
(٦) Feynman, R. 1960. There's plenty of room at the bottom. *Engineering and Science*, Vol. 23, No., February, pp 22-36.
(٧) Von Neumann, J. with Burks, A.W. 1966. *Theory of self-Reproducing Automata*. Urbana, III, University of Illinois Press.
(٨) Drexler, K.E. 1986. *Engines of Creation*. Garden City, N.Y, Anchor Press/Doubleday.
(٩) الشكل منقول عن: John Burch, Lizard Fire Studios, http://www.lizardfire.com.

قادرة على إعادة إنتاج نفسها، حيث يمكنها – إن أفلتت من السيطرة وبدأت تستهلك أو تحول العالم الطبيعي أو العالم الذي صنعه الإنسان – أن تحيل كوكب الأرض إلى كتلة رمادية هلامية (أطلق عليها اسم «الغراء الرمادي» – Grey goo) تجعلها غير صالحة للحياة. وعليه لعب دريكسلر دوراً هاماً في إثارة الحماس والخوف معاً إزاء التكنولوجيا النانومترية على مرّ السنين. فقد أسس معهداً مخصصاً لدراسة التأثيرات العلمية والاجتماعية المحتملة (معهد الاستشراف) للتكنولوجيا النانومترية، وألف كتاباً في الهندسة النظرية يدّعي فيه إثبات جدوى التصنيع الجزيئي[١٠]. بيد أنه لا توجد حتى الآن أي براهين تجريبية أو هندسية مقنعة على مجرّد إمكانية التحكم في الجزيئات. نتيجة لذلك، أصيبت فكرة التكنولوجيا النانومترية القائمة على التصنيع الجزيئي بانتكاسة شديدة، نجمت، جزئياً، عن ظهور سيناريوهات خرافية شعبية ما زال العديد من العلماء والمهندسين يعتبرونها وهمية وبلا جدوى علمية واجتماعية. ووجه ريتشارد سمولي من جامعة رايس، وهو أحد العلماء البارزين الآخرين من المعنيين بالترويج للتكنولوجيا النانومترية، إلى دريكسلر تهمة «تخويف أطفالنا» وتقديم رؤية للمستقبل مبنية على تفكير علمي هزيل[١١]. كما أدى تهميش ونبذ مفهوم التصنيع الجزيئي من قبل المجتمع العلمي إلى حمل دريكسلر مؤخراً على الندم على صكه عبارة «الغراء الرمادي».

وعلى مدى السنوات الأربعين الماضية، تحققت طفرات علمية وهندسية حقيقية، حوّلت أسئلة علمية قديمة إلى أسئلة جديدة باتت تُطرح من منظور التكنولوجيا النانومترية. ويأتي على رأس القائمة اختراع المجهر النفقي الماسح ومجهر القوة الذرية، اللذين مكنا العلماء من المعاينة والتمحيص، ومن ثم سبر غور واختبار أشياء دقيقة جداً على مستوى غير مسبوق من الصغر. وبين أواخر السبعينات وعام ١٩٨٣، قام غيرد بيننغ وهاينريش روهرر بالدراسات التمهيدية لصنع المجهر النفقي الماسح الحديث، ونالا على ذلك جائزة نوبل لعام ١٩٨٦ مع إرنيست روسكا الذي صمّم أول مجهر إلكتروني. ويعتمد المجهر النفقي الماسح على خاصية النفاذ النفقي الكمي في التتبع والقياس الدقيقين لتوزيع الإلكترونات الدائرة في مدارات الذرات المختلفة. وانطلاقاً من هذه المعلومة يمكن للحاسوب أن ينتج صورة مرئية للذرة (الشكل ٣).

وبعد ذلك بسنوات قليلة، اشترك غيرد بيننغ كذلك في اختراع مجهر القوة الذرية في مختبرات شركة IBM في زيوريخ بسويسرا. ولم يتوافر هذا المجهر للعلماء في السوق التجارية إلا منذ عام ١٩٩٠ تقريباً. يعمل هذا المجهر وفقاً لمبدأ مشابه جداً للفونوغراف التقليدي المجهز بذراع كابولي في طرفه إبرة دقيقة تُجرّ على مساحة معينة. ويمكن باستخدام شعاع ليزر تسجيل التغيرات النانومترية المستوى التي تطرأ على رأس الإبرة وهو ينتقل صعوداً ونزولاً فوق ذرّات العينة المفحوصة وتحويل هذه الذبذبات إلى صورة رقمية كما هو الحال بالنسبة للمجهر النفقي الماسح.

وقد مكّنت هذه الأدوات المهندسين والعلماء من إنتاج صور مذهلة تبيّن تشكيلات الذرّات والجزيئات. بيد أن ما يجعل هذه الأدوات مدهشة حقاً ليس فقط قدرتها على رؤية الذرات، بل قدرتها الفعلية على التحكم في الذرات وتحريكها أو ترتيبها في تشكيلات اصطناعية. ومن طليعة مستخدمي هذه الأدوات دونالد آيغلر من إدارة البحوث بشركة IBM في ألمادن بكاليفورنيا. ففي عام ١٩٨٩، قدم آيغلر عرضاً مبهراً لاستخدام المجهر النفقي الماسح فاستعان به لترتيب عدة ذرات من غاز الزينون في حيّز فراغ ليكتب بها الأحرف IBM. وفي وقت لاحق أصبح آيغلر وطلبته قادرين على استخدام هذه المجاهر لخلق طائفة متنوعة من الصور الناتجة عن التحكم في ترتيب الذرات والجزيئات، مثل «صورة



الشكل ٣: الذرة كما يمكن مشاهدتها[١٢]

(١٠) Drexler, K.E. 1992. *Nanosystem: Molecular machinery, manufacuturing and computation*. New York, Wiley.

(١١) دار نقاش علني محتدم بعض الشيء في كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٣ على صفحات مجلة *Chemical and Engineering News*, Vol. 81, No 48, pp. 37-42.

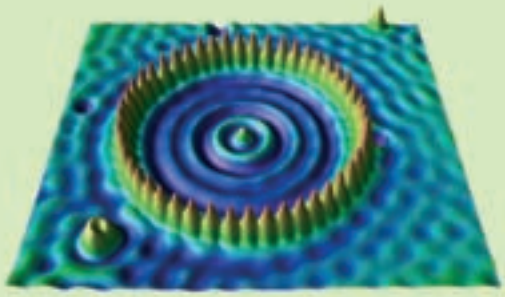
(١٢) صورة طبعت هنا بإذن من بيننغ وروهرر، ١٩٨٧. Scanning tunneling microscopy: From birth to adolescence *Reviews of Modern Physics*, Vol. 59, No. 3. p. 622. Copyright 1987 by the American Physical Society.

الطوق الكمي» (الشكل ٤) التي تبرهن بصرياً على ازدواجية الموجة/الجسيم التي تتصف بها الإلكترونات على المستوى الذري، من ثم خلق بوابات منطقية (على غرار البوابات المستخدمة في الحواسيب لتحديد الوظائف المنطقية AND وOR وNOT) باستخدام ذرات أول أكسيد الكربون، المرتبة بدقة «لتسقط» مثل أحجار الدومينو بحسب المدخل الذي تزود به البوابة.[١٣]

ومن بين التطورات العلمية الهامة التي أسهمت في إثارة الحماس للتكنولوجيا النانومترية اكتشاف جزيء الكربون ٦٠، وهو جزيء كروي الشكل يشبه كرة القدم مؤلف من ٦٠ ذرة كربون، يعرف بالانجليزية باسم «باك بول» (أو «كرة باك» buck ball أو buckminsterfullerenes) ويطلق عليه، هو وسائر البنى الكربونية شبه الكروية مثل الكربون ٧٠ والمشتقات البديلة، اسم «الفوليرينات».

وقد سمي جزيء ذرة الكربون ٦٠ باسم «كرة باك» نسبة إلى باكمنستر فولر، وهو مهندس معماري تخصص في عمارة المستقبل فقد شيد فولر قبباً جيوديسية الشكل تشبه جزيئات الكربون ٦٠ المنظومة على هيئة كرة قدم. وهذه الكرات، شأنها شأن الألماس والغرافيت، تتكون كلياً من الكربون، غير أن شكلها وبنيتها الجزيئية يعطيانها مميزات خاصة. وقد تم التعرّف على هذه الكرات وتوصيفها لأول مرة أثناء تجربة جرت عام ١٩٨٤ من قبل الأستاذين ريتشارد سمالي وروبرت كورل وطلبة الدراسات العليا جيم هيث وشين أوبريان من جامعة رايس (الولايات المتحدة) وهارولد كروتو من جامعة ساسيكس (المملكة المتحدة). وقد تم أولا تخليق هذه الكرات بأداة معقدة مصممة لتبخير الغرافيت ونفخه عبر فتحة دقيقة. ووصف روبرت كورل هذه الأداة بأنها تحمل جزيئات كربون ٦٠ مرتبة تناوبياً في مخمسات ومسدسات. وفي ذلك الوقت لم يكن يطلق على هذا العمل اسم التكنولوجيا النانومترية بل كان يعتبر مجرد عمل يدخل في باب الكيمياء. بيد أن القدرة على تركيب هذه الجزيئات سرعان ما جلبت الانتباه إلى أن هذه الجزيئات لها خصائص هامة وجديدة يمكن استغلالها. ومُنح سمالي وكورل وكروتو جائزة نوبل لعام ١٩٩٦ على عملهم هذا.

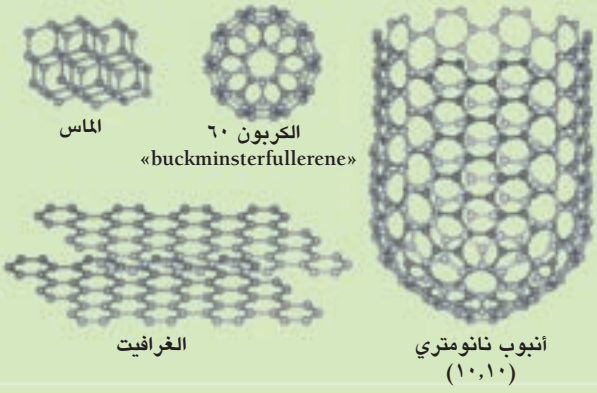
وفي عام ١٩٩١ اكتشف س. إيجيما، وكان يعمل وقتها بشركة NEC باليابان، هيئة أخرى تتجلى بها كرات باك أطلق عليها اسم الأنابيب النانومترية. وتكون هذه الأنابيب إما أحادية الجدار وإما متعددة الجدران. والأنبوب الأحادي الجدار هو أساساً إسطوانة طويلة من الكربون ينتهي طرفاها بنصف كرة من كرات باك (الشكل ٥). وتبيّن أن



الشكل ٤: الطوق الكمي

الأنابيب الأحادية الجدار تتفوق على كرات باك من حيث تعدد الاستعمالات، ويعتبرها البعض أقوى مادة اكتشفت حتى الآن وأكثرها مرونة. وهي فضلاً عن ذلك ذات موصلية كهربائية عالية جداً (تنافس النحاس والذهب، ولكن عبر سلك أصغر بكثير)، وهي كذلك ذات موصلية حرارية عالية. وهذه الخصائص المميزة أدت إلى انتشار تنبؤات متنوعة تراوحت بين الواقعي (مثل استحداث سلك جديد نانومتري الحجم لنقل الطاقة والمعلومات) والخيالي (مثل استحداث «مصعد إلى الفضاء الخارجي» – أي كابل مصنوع من الأنابيب النانومترية يسمح برفع سفينة فضاء إلى الفضاء الخارجي بدلاً من استخدام صاروخ لإطلاقها).

وثمة تخصصات أقل لمعاناً اندفعت بقوة في مجال بحوث التكنولوجيا النانومترية، ومن هذه التخصصات علوم البوليميرات التي تعكف منذ أكثر من ٦٠ عاماً على



الشكل ٥: فوليرينات[١٤]

(١٣) صورة الطوق الكمي منقولة عن آيغلر وشواتزر، ١٩٩٠. ترتيب الذرّات المنفردة بواسطة المجهر النفقي الماسح. Eigler, D.M. and Schweizer, E.K. 1990. Positioning single atom with a scaning tunneling. Nature Vol 344, 5 April, pp. 524-526.

(١٤) صورة للكربون مأخوذة من الموقع التالي: Image of carbon from http://cohesion.rice.edu/naturalsciences/smalley/emplibrary/allotropes.jpg

دراسة عمليات صنع مواد جديدة، طبيعية واصطناعية سواء بسواء. ويقال إن أنابيب الكربون النانومترية على وجه الخصوص سوف توفر مواد رائعة لصنع أشياء مثل مصدّات السيارات أو أجنحة الطائرات النفاثة المقاتلة، بيد أن اختبار هذه المواد أو توزيعها أو ترويجها على نطاق واسع مُقيد، في الوقت الراهن، بصعوبة إنتاج كميات كبيرة منها. ومن الميادين التي اجتذبت مبكراً الاستثمارات التجارية (وأثارت الاهتمام على المستوى التنظيمي والبيئي)، الإنتاج الموسع للأنابيب النانومترية أحادية الجدار لغرض استخدامها في التجارب في مختبرات الجامعات ومختبرات الشركات. فعلى سبيل المثال، بدأت شركة ميتسوبيشي اليابانية، جهوداً كبرى لإنتاج كميات أكبر من الفولّيرينات.[١٥]

في البداية أثارت كرات باك والأنابيب النانومترية الحماس لدى الكيميائيين، والمهندسين الكيميائيين، والفيزيائيين. ولكن المهندسين الكهربائيين، خاصة المهندسين الذين يبتكرون ويحسّنون أشباه الموصلات والإلكترونيات الدقيقة، أخذوا يقتربون بسرعة من العمل على المستوى النانومتري في سعيهم إلى تقزيم الأجهزة والقطع الإلكترونية. فجهاز الترانزستور المتواضع الذي كان رائجاً في أواخر الأربعينات بلغ من الصغر حجماً جعل المهندسين يتبينون الآن «خواص جديدة» بدأت تظهرها المواد النانومترية. وبظهور هذه الخواصّ الجديدة، أصبح من الضروري ابتكار أنواع وتركيبات جديدة من المواد لصنع أجهزة أصغر حجماً، وأعظم سرعة، وأقل استهلاكاً للطاقة. ولعلّ أصغر جهاز من هذا النوع، تم ابتكاره حتى الآن، هو «النقطة الكمية» التي صُممت لتحتجز شحنة كهربائية واحدة يمكن استخدامها كعنصر أساسي في الحاسوب. وما برحت النقاط الكمية تخضع للبحث والتجربة منذ أوائل التسعينات ولكنها لم تستخدم بعد في الأجهزة الحاسوبية التجارية. وللنقاط الكمية أيضاً خواص ضوئية فيزيائية فريدة تجري دراستها من أجل استخدامها في التصوير البيولوجي الطبي.

وبالإضافة إلى الكيمياء والهندسة الكهربائية، حققت البيولوجيا الجزيئية والهندسة الوراثية خبرة كبيرة، خلال السنوات العشر إلى الخمس عشرة الماضية، في معالجة المكونات الأساسية للحياة الخلوية على المستوى الجزيئي النانومتري. فالتقنيات والأدوات المتاحة لأخصائيي الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الجزيئية، مثل إعادة توحيد الدنا وتفاعل البوليميرز المتسلسل، عجّلت إلى حد كبير عمليات المعالجة والتجارب التي يمكن إجراؤها على الدنا والرنا والبروتينات. وكما سلفت الإشارة، باتت بعض هذه الأعمال تدرج الآن، في باب «البيوتكنولوجيا النانومترية» بحكم أنها تهدف إلى استغلال خصائص الكائنات الحية أو الجزيئات التي تسهم في الحياة العضوية. ومنذ عام ٢٠٠٠ تقريباً بدأت البيوتكنولوجيا النانومترية تبرز كحقل للبحوث مستقل بذاته.

لم تبدأ حكومة الولايات المتحدة إلا منذ عام ١٩٩٦ تقريباً في التفكير جدياً في تمويل البحوث المنفذة تحت عنوان التكنولوجيا النانومترية (ثم تبعتها في ذلك حكومات اليابان ودول الاتحاد الأوروبي). وفي عام ٢٠٠١ أطلقت حكومة الولايات المتحدة المبادرة الوطنية للتكنولوجيا النانومترية – وهي عبارة عن مبادرة مشتركة بين الوكالات، صممت من أجل تنسيق البحوث بين مختلف الوكالات الحكومية التي تسعى إلى تمويل أنشطة البحث والتطوير في مجال التكنولوجيا النانومترية. ما زالت المؤسسة الوطنية للعلوم في الولايات المتحدة، رائدة، في تمويل التكنولوجيا النانومترية، لا سيما عن طريق إنشاء مراكز إقليمية مختصة بقضايا محددة في هذا المجال. وكُلفت هذه المراكز (التي بلغ عددها ١٤ مركزاً في عام ٢٠٠٥) بتوزيع التمويل على الباحثين وتنسيق المشروعات والأهداف في مجالاتها المحددة.

وعقب رصد هذه الاعتمادات الأولية الكبرى لصالح البحوث في الولايات المتحدة، غدت عدة بلدان أخرى جادة بتمويل البحوث ذات الصلة بالتكنولوجيا النانومترية. فقد أسهمت الوزارة اليابانية للتربية والثقافة والرياضة والعلوم والتكنولوجيا بنحو ٢٥٠ مليون دولار بتمويل البحوث في شتى ميادين التكنولوجيا النانومترية. وتفيد تقارير الجمعية الملكية في المملكة المتحدة أن المستوى الحالي لتمويل البحوث في الاتحاد الأوروبي يناهز مليار يورو، وأن المملكة المتحدة تنفق عليها حالياً زهاء ٤٥ مليون جنيه استرليني سنوياً. وفضلاً عن ذلك، أعلنت كل من الصين وجمهورية إيران الإسلامية والبرازيل وإسرائيل أن أولوياتها الوطنية، في مجال البحوث العلمية والتكنولوجية، تشمل البحوث في مجال التكنولوجيا النانومترية.

(١٥) انظر Tremblay, J.F. 2003 Fullerenes by the Ton: Mitsubishi's Frontier Carbon expects a big matket for buckyballs. *Chemical and Engineering News*, Vol. 81, No. 32. pp.13-14

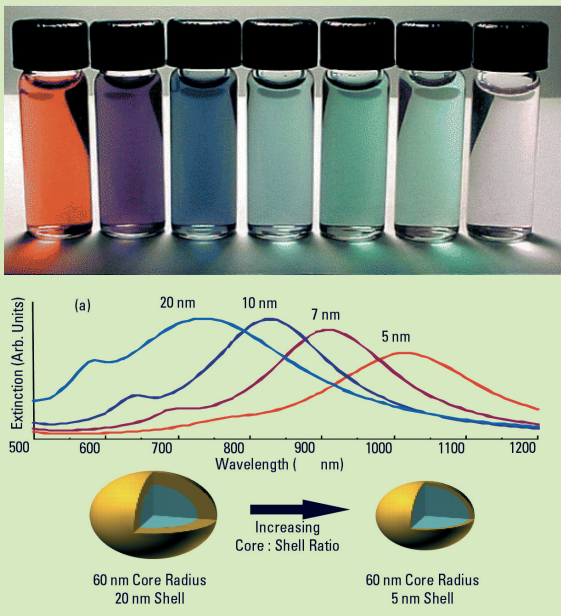
٢ الحالة الراهنة للبحوث المنفذة في مجال التكنولوجيا النانومترية

يجري في الوقت الحاضر، عدد هائل من المشروعات البحثية في مجال التكنولوجيا النانومترية. ويمكن القول وبكل اطمئنان، إنه لا يكاد يوجد اليوم، مع هذا التدفق الضخم للأموال وهذا التزايد الهائل في الاهتمام، أي مجال علمي لم يدخل بعد إلى الحلبة. ومن المؤكد أن المجالات الرئيسية، كالفيزياء والكيمياء والهندسة الكهربائية والبيولوجيا الجزيئية وعلوم الحاسوب، هي أقدر الفروع العلمية على إجراء البحوث في هذا المضمار – إلا أن الفروع الأخرى مثل علوم المواد والهندسة الكيميائية والهندسة البيئية والهندسة البيولوجية والبحوث الطبية والبصريات والفوتونيات، تملك جميعها معارف تسهم في تطور التكنولوجيا النانومترية، ولا سيما في تطبيقاتها العملية. بل إن العلوم الاجتماعية والإنسانية شهدت بدورها زيادة هائلة في المقترحات والنداءات الداعية إلى إجراء البحوث، وخاصة في مجالي الأخلاقيات وتحليل السياسات.

وليس الدافع وراء معظم البحوث الجارية المنفذة في مجال التكنولوجيا النانومترية هو التوصل إلى تطبيقات عملية مباشرة – فجانب كبير من هذه البحوث ذو طابع استكشافي وتجريبي، أو مركّز على تحديد المواصفات والفحص الدقيق الذي يمثل جوهر أي علم. ولئن كانت التكنولوجيا النانومترية لا تفتقر إلى مقترحات بشأن استخداماتها المحتملة في المستقبل، فإنها ما زالت تمر، منذ عام ٢٠٠٦، بمرحلة انتقالية. فالتخصصات العلمية القديمة باتت تعترف بوجود مجموعة متنوعة من المشكلات الجديدة التي تتطلب معالجتها الاستعانة بتخصصات علمية مجاورة، كما أن الأدوات والتقنيات الجديدة ما برحت تنتج جيلاً من العلماء القادرين على دراسة وفهم ظواهر لا يستطيع أساتذتهم دراستها أو فهمها.

لنأخذ مثلاً واحداً على هذه البحوث، دعنا ننظر في محاولة استخدام التكنولوجيا النانومترية في علاج السرطان. يستخدم الباحثون، في مختلف الجامعات والمراكز الطبية في شتى أنحاء العالم، «أصداف ذهب نانومترية» والضوء المرئي العادي لقتل الخلايا السرطانية. تتكون الأصداف النانومترية من خرزات زجاجية بالغة الصّغر مطلية بطبقة من الذهب متفاوتة السُمك. ويمكن تنويع درجة امتصاص الذهب للضوء (وهي الخاصية التي تجعله يبدو أصفر اللون في ضوء النهار) عن طريق تغيير سُمك هذه الصدفة، بحيث تمتص أطوالاً موجية ضوئية محددة وتعكس الأطوال الموجية الضوئية الأخرى. وبعد ذلك يثبّت الباحثون على هذه الأصداف أجساماً مضادة للخلايا السرطانية تحديداً، وعندما تُحقن هذه الأصداف في جسم فأر فإنها تلتصق بالخلايا السرطانية دون الخلايا السليمة. وإذا سُلِطت أشعة ضوئية ذات طول موجي محدد عبر الجسم (أشعة فوق بنفسجية في شكل أشعة ليزر منخفضة القدرة)، فإنها تؤدي إلى تسخين الأصداف الذهبية – والأصداف الذهبية وحدها – إلى درجة الحرارة اللازمة لقتل الخلايا السرطانية المحيطة بها (انظر الشكل ٦).

الشكل ٦: الكريّات النانومترية(١٦)



تتكون أصداف الذهب النانومترية من جسيمات نانومترية عازلة تشكل نواة هذه الأصداف، تُحيط بها قشرة معدنية رقيقة. وبتنويع الأبعاد النسبية لمكونات النواة والقشرة، يستطيع المرء تصميم جسيمات تعمل على امتصاص الضوء أو تشتيته في المناطق المرئية من الطيف الكهرومغناطيسي وفي الكثير من المناطق تحت الحمراء لهذا الطيف. (أ) تحتوي هذه القوارير على مُعلّقات إما من الذهب الغروي (القارورة في أقصى اليسار بلونها الأحمر المميز) أو من أصداف الذهب النانومترية التي تتفاوت أبعاد القشرة المحيطة بأنويتها. (ب) تم تخمين الخواص الضوئية للأصداف النانومترية عن طريق نظرية تشتت الضوء التي وضعها العالم الفيزيائي «مي» التي تفيد بأن تقليل سمك الصدفة المحيطة بالنواة يؤدي إلى زيادة الأطوال الموجية للرنين الضوئي.

(١٦) صورة مأخوذة عن مقالة جينيفر ويست وناومي هالاس، عام ٢٠٠٣. بعنوان مواد نانومترية مخلقة للتطبيقات البيولوجية الفوتونية الرامية إلى تحسين الاستشعار والتصوير والمداواة. في مجلة West, J. L. and Halas. N. J. 2003. Engineerd nanomaterials for biohotonics applications: Improving sesing imaging and therapeutics. *Annual Review of Biomedical Engineering. Vol. 5. pp. 285-92*.

الإطار ٢: منتجات تجارية حديثة تعتمد على التكنولوجيا النانومترية

- شمع نانومتري لزلاجات الثلج من إنتاج شركة سيراكس.
- سترة تزلج عازلة للماء من طراز فرانز زينر (شركة نانو تيكس للمنسوجات).
- ملابس مقاومة للتجعد «للجعلكة» والبقع من طراز نانوكير
- كريم للبشرة عميق النفاذ، من إنتاج شركة لوريال
- آلة تصوير تعمل باستخدام الصمامات الثنائية الباعثة للضوء العضوي، من إنتاج شركة كوداك
- طلاء عالي القدرة مضاد للانعكاس للنظارات الشمسية من إنتاج شركة نانوفيلم
- كريم للوقاية من أشعة الشمس من إنتاج شركة زد-كوت
- مضرب للتنس مصنوع باستخدام الأنابيب النانومترية، من إنتاج شركة بابولات
- كرات تنس تنتجها شركة إنماتس باستخدام التكنولوجيا النانومترية
- مادة هلامية (ايروجل) لتدفئة القدمين من طراز شوكجوك
- فراش للسرير قابل للغسل من طراز سيمونز (شركة نانو تيكس للمنسوجات)
- مضارب الغولف المصنوعة من «التيتانيوم والفلورين» من إنتاج شركة ماروومان
- كرات غولف مصنوعة باستخدام التكنولوجيا النانومترية، من إنتاج شركة نانوديناميكس
- مستحضرات العناية بالبشرة التي تنتجها شركة بيونوفا (والتي يمكن تعديل تركيبها لكي تلائم بشرة الشخص الذي سيستخدمها)
- ضمادات جروح لمعالجة ضحايا الحروق مغطاة بطبقة من «الفضة النانومترية»، من إنتاج شركة نوكريست
- مطهّر «إيكو ترو»، وهو مستحلب نانومتري ذو فعالية تؤهله للاستخدام في المجال العسكري»، الذي تنتجه شركة إنفايروسيستيمز
- رذاذ «مينكور»، شديد المقاومة للمياه، لتغطية مواد البناء بطبقة تجعلها مقاومة للمياه، من إنتاج شركة BASF
- رذاذ للحفاظ على شفافية النوافذ، من إنتاج شركة نانوفيلم
- كريم لآلام المفاصل والعضلات (تستخدم فيه جسيمات شحمية يبلغ حجمها ٩٠ فما فوق)، من إنتاج شركة فليكس باور
- لاصق للأسنان (هيدروكسي آباتيت نانومتري) من إنتاج شركة 3M

ولا يتوقف الأمر عند هذه الاستخدامات الواعدة والمبتكرة، إذ ما زال لدى العلماء والمهندسين العاملين في الجامعات دافع قوي للغاية لإيجاد تطبيقات عملية أخرى للتكنولوجيا النانومترية، وإقامة شراكات مع المصنّعين والحكومات. وهذا يُضفي، بالضرورة، طابعاً تجارياً على البحوث المنفذة حالياً في مجال التكنولوجيا النانومترية ويوجهها نحو خدمة السوق الاستهلاكية.

وعلى الرغم من أنه لم يتسن حتى الآن ابتكار سوى عدد ضئيل من المنتجات (انظر الإطار ٢، المنقول عن قائمتي فوربس لعامي ٢٠٠٣ و ٢٠٠٤ لأفضل ١٠ منتجات)، فمن المهم إدراك جدوى هذا الاندفاع في الاستثمار التجاري. فإذا ما وصل استخدام المواد النانومترية وعمليات إنتاجها إلى مرحلة النضج التجاري بسرعة، فإن ذلك قد يؤدي إلى نشوء قضايا أخلاقية وسياسية جديدة، فضلاً عن إثارة القضايا القديمة. ويساور الكثير من الشركات القلق إزاء استقبال الجمهور للمنتجات الجديدة ومن فهمه ونظرته إلى التكنولوجيا النانومترية. تعود أسباب هذا القلق بالطبع إلى مصلحتها الذاتية – فهي تصبو إلى صناعة منتجات ناجحة – ولكنه يستند أيضاً إلى العِبر المستخلصة من الانتكاسة التي مُنيت بها مؤخراً الأغذية والكائنات العضوية المعدلة جينياً. ولأسباب تتعلق بالوضع الراهن للعلوم، في أعقاب استخدام الطاقة النووية، وكارثتي تشيرنوبيل وبوبال، والجدل بشأن الأغذية المعدلة جينياً، وتفشي مرض اعتلال الدماغ الإسفنجي (مرض جنون البقر) في قطعان البقر في المملكة المتحدة والاتحاد الأوروبي، والارتفاع الهائل في عدد الملاحقات القضائية للمتسببين في الأضرار الناجمة عن أخطاء علمية في الولايات المتحدة – أصبح أخصائيو التكنولوجيا النانومترية يعون تمام الوعي ضرورة دراسة كل من الاستخدامات والأضرار المحتملة للمنتجات قبل تسويقها بوقت طويل. ويشكل الاعتراف بهذه المسألة، واتجاه الشركات إلى مراعاة النهج الوقائي في البحوث، أمراً جديداً.

باتت الانعكاسات الدولية في هذا النطاق واضحة، فكما هو الحال في قضية الأغذية المعدلة جنينياً فان نقص المعرفة بآثار التكنولوجيا النانومترية على الصحة والسلامة يمكن أن يؤدي إلى فرض قيود، وحظر تام وصراع دولي معقد حول إنتاج، ونقل مثل هذه المواد. بالإضافة إلى مطالبة المراقبين المنتمين إلى الهيئات غير الحكومية، والدولية، والمجتمع المدني بإجراء المزيد من البحوث، فإن شركات كثيرة ترى أن هناك حاجة لزيادة البحوث في مجال السلامة والسُّميّة والآثار الصحية والبيئية، وإلى حدّ ما بشأن القضايا الأخلاقية والسياسية المتعلقة بتطبيقات التكنولوجيا النانومترية. أصبحت القضايا المتعلقة باعتماد معايير طوعية، واستحداث معايير دولية، وتوثيق أفضل الممارسات الدولية في مجال إنتاج وهندسة المواد النانومترية تشكل جميعها هموماً للشركات المعنية. وإن كان الإطار المؤسّسي والتنظيمي اللازم لمعالجة هذه الشواغل، في مجال تسوده مصالح متنافسة، لم تكتمل عناصره بعد. ومن الواضح أن هذا هو الدور الذي يمكن لليونسكو والدول الأعضاء القيام به، وذلك عن طريق تيسير عملية تطوير كل من المعايير الإلزامية والطوعية للإنتاج التجاري، والتشجيع على إصدار معايير أخلاقية تحكم الممارسات البحثية التجارية وكذلك الممارسات البحثية الجامعية التقليدية.

٣ التبعات الأخلاقية والقانونية والسياسية للتكنولوجيا النانومترية

مثلما يشمل حقل التكنولوجيا النانومترية طائفة واسعة من الميادين العلمية والتقنية، فإن له على الصعيد الأخلاقي والقانوني والسياسي تداعيات كثيرة. فهناك العديد من المجالات التي تتداخل فيها التكنولوجيا النانومترية، مع قضايا سياسية راهنة أو مع معضلات أخلاقية قديمة، وقد يكون بعضها مستجداً.

٣,١ الأبعاد الدولية للتكنولوجيا النانومترية

على الرغم من أن التكنولوجيا النانومترية تجرى اليوم، في كل من البلدان المتقدمة والبلدان النامية، إلا أن التفاوت في مستوى التمويل وحجم الاستثمار وإمكانيات الانتفاع بالبنى التحتية والأجهزة العلمية والتقنية ونطاق التعاون بين القطاعات المختلفة كبير جداً. إن هذا التفاوت سيؤدي، تماما كما حدث سابقاً في التطورات العلمية والتكنولوجيا، بالبلدان النامية إلى خطر التخلف عن الركب «فجوة المعرفة»، ما لم تلتمس هذه البلدان السبل التي تكفل لها المشاركة، على قدم المساواة، مع البلدان الأخرى. بيد أن هناك وفرة من الأدلة التي تشير إلى أن طبيعة هذه الفجوة ستكون مختلفة عن سابقتها التي خلت منذ ١٥ عاماً. إذ يتوافر للباحثين اليوم، مجال أوسع بكثير للاطلاع مباشرة على المنشورات عن طريق الإنترنت. ومع تبدل الأحوال الاقتصادية في الصين والبرازيل والهند، بات الباحثون في الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي أكثر استعدادا بكثير للسفر إلى هذه البلدان، والتفاعل مع علمائها وإقامة علاقات تعاونية معهم. وعليه، أصبحت بحوث التكنولوجيا النانومترية مشروعاً علمياً ذا طابع دولي أكثر بروزاً من الطابع الذي اتسمت به، على سبيل المثال، بحوث البيوتكنولوجيا في الثمانينات والتسعينات من القرن الماضي. وقد يؤدي ذلك إلى تضارب المصالح الوطنية المختلفة، ولكن بات من الواضح في أن طبيعة «الفجوة المعرفية» ستتخذ وجها مغايراً.

ومن المحتمل جدا أن تكون الفوارق في الانتفاع من البحوث أشد اتساعاً في داخل كل بلد مقارنة بين التفاوتات الموجودة بين البلدان، إذ غدا التواصل بين خبراء ونخب البلدان المختلفة، على أعلى مستويات البحث والتطوير، أكثر سهولة وشيوعاً. بينما بات التواصل بين الخبراء والنخب في البلد الواحد وبين الفئات الفقيرة والأقل حظا في التعليم، أقل شيوعاً، كما تضاءلت الحوافز المشجعة على مثل هذا التواصل. ولذا، يتعين على العلماء والخبراء في المجتمع الدولي أن يجدوا الوسائل الكفيلة برأب «الفجوة المعرفية» داخل بلدانهم وبين البلدان المختلفة.

ترتبط قضية الفجوة المعرفية بمدى تعميم الفائدة الناجمة عن مختلف أنواع بحوث التكنولوجيا النانومترية، وتوجيهها لمنفعة جميع البلدان بصورة متكافئة. وكما جاء في مقالة نشرت في عام ٢٠٠٥، في مجلة مكتبة العلوم العامة في الطب «PloS Medicine»[١٧]، هناك عدة مجالات يمكن أن تعود على الدول الفقيرة بفائدة أكبر بكثير مما يمكن أن يعود به أي تطور تجاري. وتتضمن هذه المجالات: تخزين الطاقة وتحويلها، ومعالجة المياه، والصحة، وتشخيص الأمراض وعلاجها. بل يذهب المقال إلى حد القول بأن تطبيقات التكنولوجيا النانومترية العشرة الأهم بالنسبة للبلدان النامية يمكنها أن تسهم أيضاً في تحقيق « الأهداف الإنمائية للألفية» للأمم المتحدة (انظر الشكل ٧).

ولكن ما هي الآليات الواجب استخدامها للنهوض بهذه البحوث؟ وكيف يمكن إعطاء العلماء في الجامعات والتجمعات المهنية الحوافز اللازمة (التي تتجاوز الاعتبارات المتعلقة بمقومات النجاح التجاري) للسعي إلى تحقيق هذه الأهداف؟ يستطيع التعاون الدولي أن يساهم في توجيه عمل الجامعات وفرق العلماء نحو إجراء بحوث في المجالات ذات الحاجة الأشد والمردود الأعظم. وينطوي الكثير من هذه المجالات على إمكانيات تجارية وإنمائية ضخمة شريطة أن تلتزم الدول والقطاع الخاص، أولا، بتشجيع مثل هذه البحوث، وأن تطبق نتائجها، ثانيا، في شتى البنى الأساسية للبلدان النامية.

(١٧) Salamanca-Buentello, F., Persad, D.L., Court, E.B., Martin, D.K., Daar, A.S. and Singer, P.A. 2005. Nanotechnology and the developing world. *PloS Medicine*, Vol. 2, No.5, e97, p. 302

الشكل ٧: أهم عشرة تطبيقات للتكنولوجيا النانومترية وأهداف الأمم المتحدة الإنمائية للألفية

الترتيب	تطبيقات التكنولوجيا النانومترية	أمثلة	الأهداف المناظرة من بين الأهداف الإنمائية للألفية
١(٧٦٦)*	تخزين الطاقة وإنتاجها وتحويلها	نظم جديدة لتخزين الهيدروجين تستخدم أنابيب الكربون النانومترية وغير ذلك من المواد النانومترية الخفيفة الوزن الخلايا الضوئية الفولتية، والأجهزة الباعثة للضوء العضوي التي تقوم على النقاط الكمية (quantum dots) أنابيب الكربون النانومترية ذات الأغلفة الغشائية التركيبية المستخدمة في الخلايا الشمسية المحفزات النانومترية لتوليد الهيدروجين الأغشية البوليميرية البروتينية المهجنة المصنوعة بتقنية محاكاة الطبيعة (البيوميميتيك Biomimetic).	٧
٢(٧٠٦)	زيادة الإنتاجية الزراعية	الزيوليتات ذات المسام النانومترية للرشح البطيء للمقادير المناسبة من الماء والأسمدة للنبات، ومن المغذيات والعقاقير للماشية كبسولات نانومترية لبث مبيدات الأعشاب مجسّات نانومترية لرصد نوعية التربة وصحة النباتات مغناطيسات نانومترية لإزالة ملوثات التربة	١ و٤ و٥ و٧
٣(٦٨٢)	معالجة المياه وتطهيرها	أغشية نانومترية لتنقية المياه وإزالة ملوحتها وإزالة سُمّيتها مجسّات نانومترية للكشف عن الملوثات ومسببات الأمراض الزيوليتات والبوليميرات ذات المسام النانومترية، والأتابولجيت الصلصالي لتنقية المياه الجسيمات المغناطيسية النانومترية لمعالجة المياه وتطهيرها جسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO2) النانومترية لتحفيز إفناء ملوثات الماء	١ و٤ و٥ و٧
٤ (٦٠٦)	تشخيص الأمراض والكشف عنها	نظم تشخيص باستخدام مقادير ضئيلة تقاس بالنانولتر (مختبر على رقاقة – lab-on-a-chip) شبكات مجسات نانومترية قائمة على أنابيب الكربون النانومترية استخدام النقاط الكمّية في تشخيص الأمراض استخدام الجسيمات المغناطيسية النانومترية كمجسّات استخدام مترافقات الأجسام المضادة والبوليميرات النجمية في تشخيص فيروس نقص المناعة المكتسب-١ والسرطان استخدام المجسات السلكية والحزامية النانومترية في تشخيص الأمراض استخدام الجسيمات النانومترية لزيادة دقة الصور الطبية	٤ و٥ و٦
٥ (٥٥٨)	نظم تلقيم العقاقير	استخدام الكبسولات النانومترية، والليبوسومات، والبوليميرات النجمية، وجزيئات الكربون ٦٠ (كرات باك)، والمغناطيسات الحيوية النانومترية، ومعدن الأتابولجيت الصلصالي، في نظم التلقيم البطيء والمتواصل للعقاقير	٤ و٥ و٦
٦(٤٧٢)	معالجة الأغذية وتخزينها	استخدام المركبات النانومترية في صناعة الأغلفة البلاستيكية الرقيقة لتغليف الأغذية استخدام مستحلبات نانومترية مضادة للجراثيم في التطبيقات الخاصة بإزالة التلوث من المعدات والأغلفة الخاصة بالأغذية، أو من الأغذية نفسها المجسات الحيوية النانومترية للكشف عن المضادات لتحديد الملوثات المسببة للأمراض	١ و٤ و٥
٧(٤١٠)	مكافحة تلوث الهواء وتطهير الهواء	الإفناء الضوئي الفولتي لملوثات الهواء باستخدام جسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم في النظم الذاتية التنظيف محفزات نانومترية لزيادة كفاءة المحولات التحفيزية وخفض أسعارها وتحسين التحكم فيها مجسات نانومترية لزيادة كفاءة المحولات التحفيزية وخفض أسعارها وتحسين التحكم فيها مجسات نانومترية للكشف عن المواد السامة وعن تسربها أجهزة نانومترية لفصل الغازات	٤ و٥ و٧
٨ (٣٦٦)	البناء	بنى جزيئية نانومترية لزيادة مقاومة الأسفلت والخرسانة لنشع الماء مواد نانومترية مقاومة للحرارة لصد الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء مواد نانومترية لبناء مساكن وصنع أسطح ومواد كساء وغراء وخرسانة أرخص ثمناً وأطول عمراً ولحجب الحرارة والضوء أسطح ذاتية التنظيف (مثل النوافذ والمرايا والمراحيض) بفضل كسوتها بمواد عضوية نشطة	٧
٩ (٣٢١)	المراقبة الصحية	أنابيب وجسيمات نانومترية تزود بها أجهزة الكشف عن الغلوكوز وثاني أكسيد الكربون والكوليسترول، وتستخدم في المراقبة الموضعية للثبات الداخلي للجسم	٤ و٥ و٦
١٠ (٢٨٥)	اكتشاف ناقلات الأمراض والآفات ومكافحتها	مجسات نانومترية لاكتشاف الآفات جسيمات نانومترية تدخل في تركيب مبيدات جديدة للآفات والحشرات ومواد جديدة طاردة للحشرات	٤ و٥ و٦

٣,٢ السمية والتبعات البيئية للتكنولوجيا النانومترية

المشكلتان الأكثر إلحاحاً اللتان تنطوي عليهما التكنولوجيا النانومترية في الأجل القصير، هما مدى سمية منتجاتها ومدى تأثيرها على الإنسان والبيئة. وليست المسألة أخلاقية أو سياسية بقدر ما هي مسألة تتعلق بالسلامة والصحة، ولكن الإدراك بحد ذاته بالتكنولوجيا النانومترية يتسبب في تفاقم الشعور بالقلق إزاء ما قد تنطوي عليه من مخاطر جديدة، الأمر الذي من شأنه أن يثير أسئلة جديدة حول كيفية التعامل معها. وتعالج معظم الشركات، والباحثين هذا الموضوع من خلال نهج «إدارة الأخطار» – وهو شكل تقني رفيع من أشكال التقييم ذو نطاق تطبيق ضيق بالضرورة. وفي حين أن هذا النهج يتميز بدقة تحديده للمخاطر (وأحياناً الفوائد) التي تنطوي عليها المواد والأجهزة المستحدثة، فإنه لا يتناول المسائل الأوسع نطاقاً المتعلقة بالبعد الأخلاقي أو السياسي لهذه المخاطر – وذلك مثلاً كتحديد من سيتحملها، وكيفية توزيعها على الصعيد الدولي، ومن سيكلف باتخاذ القرارات بناء على هذه التحليلات.

وحتى الآن لا يتوفر إلا بضع دراسات حول هذه المخاطر. وقد صدرت مؤخراً عدة تقارير (مرفقة في هذه الوثيقة) تعرض بمزيد من التفصيل الوضع الراهن للبحوث. وقد تبين أن هناك نوعين من الشواغل: مخاطر الجسيمات النانومترية ومخاطر التعرض لها. ويتعلق النوع الأول بالآثار البيولوجية والكيميائية للجسيمات النانومترية على جسم الإنسان أو على النظم الإيكولوجية الطبيعية؛ بينما يتعلق النوع الثاني بمشكلة تسرب الجسيمات النانومترية وانتشارها ودورانها وتركيزها، وهي أمور يمكن أن تسبب مخاطر للكائنات الحية أو النظم الإيكولوجية.

استناداً إلى تعريف الجسيمات النانومترية، فإن هناك بضعة قليلة من المواد المستحدثة الممكن انتشارها على نطاق واسع، في المستقبل القريب. وأبرز هذه المواد هي البنى النانومترية المكونة من الكربون ومنها مثلاً (كرات باك)، وأنابيب الكربون النانومترية الأحادية الجدار والمتعددة الجدران. وهناك مواد أخرى مثل ثاني أكسيد التيتانيوم، أو أكسيد الزنك، أو جسيمات الذهب النانومترية يُحتمل، أيضاً، أن تستخدم (أو هي مستخدمة فعلاً) في بيئات مختلفة. ولعله من الأفضل أن نميز بين ثلاثة أنواع من الجسيمات النانومترية: الجسيمات النانومترية «المخلّقة»

إطار ٣ – توصيات الإدارة العامة للصحة وحماية المستهلك التابعة للمفوضية الأوروبية

١ – وضع تسميات جديدة للمواد النانومترية.
٢ – تحديد أرقام تسجيل للجسيمات النانومترية الجديدة في دائرة الخدمات التابعة لمجلة ملخصات البحوث الكيميائية.
٣ – النهوض بالعلوم من خلال جمع البيانات وإجراء تحاليل بشأن الجسيمات النانومترية الجديدة.
٤ – استحداث أدوات قياس جديدة.
٥ – استحداث أساليب موحدة لتقييم المخاطر.
٦ – الترويج للممارسات الجيدة في مجال تقييم المخاطر.
٧ – إنشاء مؤسسات تعنى برصد تطور التكنولوجيا النانومترية.
٨ – إقامة الحوار مع عامة الجمهور ومع الصناعة.
٩ – وضع مبادئ توجيهية ومعايير من أجل إنتاج المواد النانومترية ومعالجتها وتسويقها وتقييم مخاطرها.
١٠ – إعادة النظر في النظم القائمة وتغييرها عند الاقتضاء لتعكس خصوصيات التكنولوجيا النانومترية.
١١ – تطبيق أقصى قدر من الاحتواء على الجسيمات النانومترية الطليقة الموجودة.
١٢ – السعي إلى منع انتشار الجزيئات النانومترية في البيئة أو حصره ضمن أدنى الحدود حيثما أمكن.

(ومنها مثلاً كرات باك) جزيئات الكربون ٦٠، وأصداف الذهب النانومترية)، والجسيمات النانومترية «العَرضية» (مثل الجسيمات الموجودة في دخان اللحام والطهي وعادم الديزل)، والجسيمات النانومترية «الطبيعية» (مثل الجسيمات التي يحتوي عليها رذاذ المحيط المالح أو التي تنتج عن حرائق الغابات). تشكل الجسيمات النانومترية «المخلّقة»، فقط، فئة جديدة تماماً من الجسيمات. ومن هذه الفئة، لم تدرس بجدية حتى الان، سوى «كرات باك» (أو الفوليرينات). أما الجسيمات النانومترية «العرضية» (التي توصف في أحيان كثيرة باسم «الجسيمات المتناهية الدقة»)، ومنها مثلاً عادم السيارات، فإنها قد دُرست بطبيعة الحال بشكل أكثر استفاضة. وتفيد الدراسات القليلة التي أجريت حتى الآن بشأن سُمية الفوليرينات أنها خطرة بالفعل – إلا أنه من الممكن تصنيفها لتكون أقل سُمية وذلك من خلال إضافة مواد كيميائية أخرى إلى سطحها، مما يؤدي إلى تغيير خصائصها الكيميائية[١٨]. وتدل هذه النتائج على أن السؤال الأمثل الذي ينبغي أن يطرحه المسؤولون، وواضعو السياسات فيما يخص التكنولوجيا النانومترية ليس «هل التكنولوجيا النانومترية آمنة؟» وإنما «كيف يمكن أن نجعلها أكثر أمناً؟» ومن خلال التعاون والتنسيق على الصعيد الدولي، يمكن التوصل إلى وضع حد أدنى من المعايير الأخلاقية التي تحكم تخليق مثل هذه المواد واختبارها. ويتوقع أن يحرص العلماء ألا يعلنوا عن اكتشاف أو تخليق هذه الجسيمات النانومترية، فقط، وإنما بالإعلان أيضاً عن الشروط اللازمة لجعلها آمنة، أو أكثر أمناً من مواد أخرى تفي بنفس الأغراض.

وقد يكون تقييم الآثار البيئية والإيكولوجية أمراً معقداً للغاية. فنظراً للتعقيد الطبيعي الشديد للدورات الإيكولوجية، في ظل استحالة إجراء تجارب مباشرة على البيئة الطبيعية، غدت المعلومات المتوفرة عن الأخطار الإيكولوجية للجسيمات النانومترية ضئيلة. وكما هو الحال في كثير من المسائل الأخرى، قد لا تكون القضية الأكثر إلحاحاً هي تحديد السمية الدقيقة للجسيمات النانومترية، وإنما العمل على استحداث قواعد تنظيمية جديدة، وتفعيل القواعد القديمة وتطبيقها على الصناعات التي تبتكر هذه المواد الجديدة وتعالجها. وفي العديد من البلدان، يُعتبر الإشراف على بعض المواد الكيميائية الأكثر خطورة، مثل الزرنيخ والزئبق، ضعيفاً – وإذا ثبت أن الجسيمات النانومترية أقل سمية من هذه المواد، فإن التحديات للعاملين في الهيئات التنظيمية ستكون صعبة. إن مخاطر التلوث التي يمكن أن تتسبب فيها الشركات التي تمارس الكيمياء الخضراء، والتي تستحدث الوسائل من أجل إعادة تدوير، وإعادة استخدام النفايات، ستكون بطبيعة الحال أقل من المخاطر التي ستتسبب فيها الشركات التي لا تطبق مثل هذه الوسائل؛ ولكن إيجاد حوافز تشجع على اتباع الممارسات الأكثر تكلفة يمثل مشكلة سياسية أقدم عهداً بكثير من التكنولوجيا النانومترية.

ويملك الاتحاد الأوروبي، شأنه شأن الولايات المتحدة الأمريكية، قواعد تنظيمية يمكن من خلالها تقييم أخطار التكنولوجيا النانومترية ومخاطر التعرض لها. وقد قامت المفوضية الأوروبية بنشر تقرير أولي عن العمليات التي يمكن اللجوء إليها لمواجهة هذه المخاطر. كما أن النظام الجديد لتسجيل وتقييم وترخيص المواد الكيميائية في الاتحاد الأوروبي (نظام REACH) ستكون له آثار بعيدة المدى على صناعة المواد الكيميائية وانعكاسات غير معروفة، حتى الآن، على منتجي الجسيمات النانومترية[١٩].

شرعت وكالة حماية البيئة الأمريكية، وإدارة الأغذية والعقاقير، وإدارة السلامة والصحة المهنية، والمعهد الوطني للسلامة

(١٨) أجريت عدة دراسات بشأن سمية الفوليرينات، منها دراسة أثبتت أن الأضرار التأكسدية التي تصيب دماغ سمك الباس ذي الفم الكبير تسبب إجهاداً تأكسدياً في أدمغة صغار هذه الأسماك. Oberdorster, E. 2004. Manufactured nanomaterials [fullerenes. C 60] induce oxidative stress in brain of juvenile largemouth bass. *Environmental Health Perspectives,* Vol. 112, No. 10, pp.1058-62). ومنها دراسة أخرى قاست السمية الخلوية الناشئة عن جزيئات الكربون ٦٠ في الجرذان (Colvin, V. L. 2003. The potential environmental impact of engineered nonmaterial's. *Nature Biotechnology,* Vol. 21, No. 10, pp. 1166-1170).

(١٩) http://europa.eu.int/comm/enterprise/reach/overview.htm (جرى الدخول إلى هذا الموقع في ٢٠٠٦/١/١٧).

والصحة المهنية بالنظر في ضرورة تغيير العمليات القائمة من أجل أخذ التكنولوجيا النانومترية في الاعتبار ضمن معاييرها الوقائية. بالتحديد تقوم وكالة حماية البيئة، بتقييم أول «إخطار قبل التصنيع» مقدم لها من قبل شركة تسعى إلى الحصول على موافقة رقابية على تصنيع أنابيب الكربون النانومترية. وبالإضافة إلى المهام التنظيمية، تمول العديد من هذه الوكالات مشروعات بحوث تُجرى بالاستعانة بموارد داخلية و/أو خارجية وتستهدف فهم الأخطار الناشئة عن المواد النانومترية المصنعة ومخاطر التعرض لها.

قامت الجمعية الملكية في المملكة المتحدة، مؤخراً، بنشر تقرير أوصت فيه بتحديد مهلة تتراوح بين سنتين وخمس سنوات يجري خلالها حث الشركات والجامعات على البحث في سُمية التكنولوجيا النانومترية وفهمها وتصميم عمليات لمعالجتها، قبل أن تبادر الحكومة إلى إصدار أي قواعد تنظيمية جديدة في مجال التكنولوجيا النانومترية.

وثمة مسائل ترتبط ارتباطاً واضحاً بموضوع السمية وهي توعية المستهلك، ووضع العلامات على المنتجات، والترويج للمعايير والقواعد التنظيمية بشأن الجسيمات النانومترية. وإحدى القضايا الأساسية التي يطرحها إنتاج أي نوع من أنواع المنتجات العلمية أو التقنية اليوم تكمن في مدى ثقة المستهلكين والمواطنين بالمعلومات التي توفر لهم ومدى تعويلهم عليها. وتعد الأغذية المعدلة وراثياً مثلاً جلياً، بل مخيفاً، بالنسبة لمعظم الشركات المهتمة بالاستثمار في التكنولوجيا النانومترية. فالقرار الذي اتخذته بعض الشركات بإنتاج وتوزيع أغذية معدلة وراثياً دون التماس موافقة الجمهور على هذه المنتجات، أو دون وضع علامات صريحة تدل عليها، أدى إلى ردود فعل عنيفة، وأثار مناقشات بشأن وضع العلامات على المنتجات الغذائية وبشأن إمكانية الثقة بإشراف الحكومة والشركات على سلامة الأغذية المعدلة وراثياً وبضمانها لهذه السلامة.

الشكل ٨: المواقف إزاء الخطر[٢٠]

تواجه التكنولوجيا النانومترية مشكلات مشابهة، ولا سيما إذا استخدمت سيناريوهات مثل سيناريو «الغراء الرمادي» من أجل الإثارة أو الإقناع. وحتى إذا نحينا جانباً هذه المحاولات الرامية إلى إثارة مخاوف لا مبرر لها، فإن العملية الاعتيادية لإعداد التقارير عن شؤون الصحة والسلامة تؤدي إلى إصدار تحذيرات وموافقات عديدة متضاربة، وكثيراً ما تكون غير مفهومة بحيث يتعذر الوقوف بصورة فعالة على المخاطر المحددة للجسيمات النانومترية، أياً كانت هذه المخاطر. ومما يزيد الأمور تعقيداً، أن الآراء لم تتوافق حتى الآن حول ما إذا كان ينبغي معاملة الجسيمات أو المواد النانومترية على أنها شيء جديد تماماً، أو على أنها مجموعة فرعية من مواد موجودة، وذلك لأغراض تحديد القواعد التنظيمية أو وضع العلامات على المنتجات. وستواجه هيئات التوحيد القياسي التي تشرف على المواد، ابتداء بمنظمات التوحيد القياسي الوطنية حتى المنظمة الدولية للتوحيد القياسي، مشكلة تحديد ما يجعل، إن كان هناك ما يجعل، الجسيمات النانومترية تمثل مواد جديدة متمايزة عن البنى الأوسع نطاقاً التي لها نفس التركيب الكيميائي. وحينها فقط سيصبح من السهل على الهيئات التنظيمية أن تبت فيما إذا كان ينبغي تنقيح القواعد التنظيمية القائمة، أم إذا كان ينبغي استحداث قواعد جديدة.

وإن صح أن المواد الاعتيادية تتفاعل بصورة مختلفة في نطاق الحجم النانومتري، فإنه من المحتمل ألا تتمكن النظم المعمول بها لتقييم المخاطر من اكتشاف هذه الأخطار الجديدة المحتملة. وتعالج توصيات الخبراء الأوروبيين بعض هذه القضايا (الإطار ٣) من خلال الدعوة إلى وضع معايير، وأدوات، وتسميات، ونظم قياس جديدة خاصة بالحجم النانومتري، وبالأنواع الجديدة من الجسيمات النانومترية. وبإمكان المنظمات الدولية أن تسهم في تيسير مثل هذه التطورات، وتشجيع استخدامها واعتمادها على نطاق واسع لا في الولايات المتحدة وأوروبا فحسب وإنما أيضاً، وهذا هو الأهم، في البلدان النامية، مثل الصين والهند والبرازيل وجمهورية إيران الإسلامية، التي بدأت تضع برامج للبحوث في مجال التكنولوجيا النانومترية وبعض القواعد التنظيمية، سواء بسواء.

وتنطوي هذه المشكلة على بعد سياسي وثقافي – ونعني بذلك المواقف التي يعتمدها السياسيون والمواطنون إزاء المخاطر والقواعد التنظيمية. ويوضح الشكل ٨ مجمل المواقف التي قد تتخذ بشأن هذه القضايا، مع الإشارة في اليسار إلى القواعد التنظيمية المطبقة في الاتحاد الأوروبي، وهي أكثر استناداً إلى الأسلوب الوقائي، وفي اليمين إلى الأسلوب المتبع في الولايات المتحدة، وهو أسلوب مشجع للسوق وللشركات. ويعتبر الأسلوب الوقائي

(٢٠) شكل قدمته كريستين كولينوسكي من مركز التكنولوجيا النانومترية البيولوجية والبيئية (Kristen Kulinowski of the Center for Biological and Environmental Nanotechnology). جميع الحقوق محفوظة.

أن عدم وجود بيانات عن سلامة أو فعالية التكنولوجيا النانومترية تحذير يستدعي عدم تسويق المنتجات، بينما يعتبر الأسلوب المشجع للأسواق أن عدم وجود هذه البيانات إنما يعني أن من غير الضروري إصدار قواعد تنظيمية إضافية قبل طرح المنتجات في الأسواق[٢١].

والأمر الذي يجعل هذا التباين في أسلوب المعالجة مثيراً للقلق بشكل خاص، أن القواعد التنظيمية الوطنية والضمانات المتعلقة بالسلامة أصبحت تتسم في عصر العولمة بطابع سياسي أكثر وضوحاً، كما أضحت فيه أشد تعقيداً.

٣,٣ إلى جانب تقييم المخاطر ثمة قضايا أخرى تستحق العناية

من الجلي أن قضايا السلامة والسمية والآثار البيئية تعد كلها قضايا مهمة تحتاج إلى مزيد من البحوث ومن الإشراف الدولي. ولكن هذه القضايا تمثل مشكلات محدودة نسبياً، وأفضل طريقة لمعالجتها هي استخدام التقنيات المتطورة لتحليل المخاطر، وإجراء التجارب العلمية، وإجراء تقييم قانوني جديد للنظم الرقابية القائمة.

بيد أن هناك عدداً من القضايا الأخرى التي لا يمكن تفسيرها بدقة بنهج تقني لتحليل المخاطر. وتشمل هذه القضايا الأخلاقية والسياسية الأوسع نطاقاً مسائل تتعلق بالملكية الفكرية، والسرية، وشرعية النتائج العلمية، واحتمال نشوء فجوة معرفية بحكم العوامل المالية والآثار القانونية المترتبة على الملكية الفكرية. ومن ثم، فالسؤال المطروح على نطاق واسع هو: هل ستكون التكنولوجيا النانومترية، بوصفها أحد الفروع العلمية، شبيهة بعلوم الماضي التقليدية، وهل ستحذو حذوها، أم هل ستتحول بحكم الضغوط السياسية والاجتماعية والقانونية الجديدة إلى شيء غير مألوف؟

وتوحي البحوث الحديثة التي تجرى في مجال البيوتكنولوجيا والمنتجات الغذائية المعدلة وراثياً «بفقدان البراءة» إلى حد ما، إن قسناها بما عهدناه في العلم من نقاء وتجرد ومن ترفع عن طلب المصلحة. فلم يعد من المحرمات بالنسبة للعديد من البلدان، على ما يبدو، أن تتدخل علناً لتنظيم البحوث العلمية الأساسية ولتوجيهها من قبل المجتمع – وقد تكون التكنولوجيا النانومترية مثلاً أول على حالات لن يكون فيها بمستطاع الباحثين أنفسهم أن يوجهوا بصورة مستقلة البحوث العلمية التي يجرونها نظراً لتزايد الضغوط الخارجية التي يتعرضون لها، وهي لا تشمل الضغوط التجارية فحسب وإنما تشمل أيضاً الضغوط التي تمارسها الأطراف الفاعلة في المجتمع المدني والدولة. بيد أن النتيجة التي سيسفر عنها هذا النمط الجديد من التفاعل ليست واضحة تماماً بعد.

٣,٤ أخلاقيات العلوم

من أكثر القضايا التي تثيرها التكنولوجيا النانومترية مدعاة للانشغال بنية العلوم نفسها، وهذه القضية لا تقتصر على التكنولوجيا النانومترية وحدها. فالأمر يتعلق هنا بمدى شرعية النتائج العلمية نفسها، كما يتعلق بمدى ثقة الجمهور بهذه النتائج وباستخدامها، أو إساءة استخدامها من قبل الحكومات والشركات والمؤسسات غير الربحية. وقد أخذت العلوم تخضع بصورة متزايدة، في القرن العشرين، لأشكال جديدة من المراقبة والضغوط التي باتت توجّه عمليات استحداث المعلومات العلمية ونشرها وتشاطرها. ويتمثل أحد أشكال هذه الضغوط في توسع نظام الحقوق والمكافآت المتعلقة بالملكية الفكرية. ويتمثل شكل آخر في تزايد المراقبة العامة للبحوث العلمية، وظهور أصوات تطالب بإخضاع هذه البحوث لمساءلة الجمهور. ويتمثل شكل ثالث في لجوء الحكومات إلى استخدام المعلومات العلمية أو إساءة استخدامها في سياق يتسم بتوخي مزيد من السرية وببذل جهود مستجدة لمكافحة الإرهاب. وعندما تضاف هذه الضغوط إلى بعضها بعضاً يمكن أن تترتب عليها آثار سلبية تنعكس على طبيعة ونوعية الأنشطة العلمية المنفذة، ويمكن أن تستحدث حوافز تتنافى مع قيم الموضوعية والنزاهة.

وإضافة إلى ذلك، لم يعد من الواضح في الآونة الأخيرة من الذي سينتفع أو سيعاني من هذه الأخطار المحتملة، ويرجع ذلك، بقدر كبير، إلى العولمة المطردة التي بات البحث العلمي يتسم بها، وإلى توسع الشبكات التي تساهم في هذا البحث وتغذيه. يقتضي البحث العلمي السليم بنى أساسية متينة لإدارته؛ وافتقار البلدان النامية إلى هذه البنى الأساسية قد يحرمها من أفضل المعارف والممارسات العلمية وأكثرها مصداقية، إما لأنها لا تملك الموارد المالية التي تتيح لها أن تحصل على المعلومات العلمية الرفيعة المستوى وإما لأنها لا تستطيع الانتفاع

(٢١) فيما يخص الأسلوب الوقائي انظر أيضاً التقرير الذي أعدته اللجنة العالمية لأخلاقيات المعارف العلمية والتكنولوجية بعنوان: المبدأ الوقائي.
The Precautionary Principle UNESCO 2005

ببيانات ومواد علمية مودعة في محفوظات رقمية. ويمكن للفجوة الرقمية وللقضايا المتعلقة بتحكّم بلدان معينة سياسياً في بعض الشبكات، أن تؤثرا كلتاهما في تحديد أشكال المعارف التي ستصبح متداولة على الصعيد العالمي في مجال التكنولوجيا النانومترية.

وكما هو الأمر بالنسبة للأخطار واحتمالات التعرض لها، فإن أكبر مشكلة تكتنف معرفتنا بمخاطر وفوائد الملكية الفكرية هي أن هذه المعرفة محدودة النطاق. فليس لدينا أي دليل تقريباً يثبت أن زيادة الحماية التي تحظى بها براءات الاختراع أو الملكية الفكرية يحقق فعالية اقتصادية، ولا أي دليل على فائدة تخفيف هذه الحماية. ولكن بإمكاننا أن ننظر إلى مجالات أخرى للعلوم والملكية الفكرية لكي نسترشد بها في مجال التكنولوجيا النانومترية.

وفي الآونة الأخيرة أدى استخدام الملكية الفكرية في مجال العلوم، وفي مجال التجارة التي تستند إلى العلوم، إلى إثارة الجدل حول ثلاثة أمور هي: أولا، إمكانية أن يؤدي التساهل في منح براءات الاختراع إلى تزايد تكاليف النزاعات القضائية وإلى نشوء نظم معقدة للغاية لتشاطر التراخيص والإتجار ببراءات الاختراع بين الشركات والحكومات؛ وثانياً، القوانين الجديدة المتعلقة بقواعد البيانات والتي تمنح لهذه الشركة أو تلك بعض الحقوق على وقائع معينة – وهذا أمر طالما عارضته صراحة النظم المعنية بالملكية الفكرية في العالم ومن شأنه أن يعوق حتى أقل البحوث الأساسية خطراً وذلك بسبب ما يتطلبه من تكاليف رادعة؛ وثالثاً، ظهور ما يسمى البراءات التي تحمي «الأسلوب التجاري» في مجال تكنولوجيا المعلومات.

وتعتبر البراءات التي تحمي «الأسلوب التجاري» مثالاً جيداً على التوسع المفرط في تطبيق الملكية الفكرية. فهذه البراءات تمنح أساساً حقوقاً واسعة النطاق لشركات تستخدم تكنولوجيا الحواسيب لتنفيذ عمليات شائعة ومعروفة (ومثالان مشهوران على ذلك هما البراءات الخاصة بتنظيم المزادات على الإنترنيت والبراءات الخاصة بعمليات الشراء عن طريق الإنترنيت). وقد تشهد التكنولوجيا النانومترية هذا التسابق على تسجيل البراءات، بما أنها تقوم، بحكم تعريفها ذاته «باستغلال خواص جديدة» لمواد معروفة حق المعرفة.

والخطر الذي يسببه الإفراط في إصدار براءات الاختراع في مجال التكنولوجيا النانومترية يتمثل في ظهور «تداخل الحقوق التي تنظمها البراءات» أو في «مأساة إهدار الموارد بسبب احتكارها». إذ يمكن أن يؤدي منح البراءات بشأن الجسيمات النانومترية الأساسية والعمليات التي تستخدم فيها الجسيمات النانومترية إلى فرض حقوق ملكية شديدة التفصيل والدقة بحيث يستحيل استحداث مواد جديدة – مثل نظام لترشيح المياه باستخدام أنابيب الكربون النانومترية لإنتاج مياه شرب نظيفة – دون أن تواجه تعقيدات يكاد يستحيل اجتيازها بسبب المطالبات الناشئة عن البراءات المتنافسة والمتداخلة. كما ينشئ هذا الوضع حاجة إلى الاستعانة بالخبرة القانونية حتى قبل الشروع في البحوث، ويشكل خطراً ليس بالنسبة للمصالح التجارية فحسب وإنما بالنسبة لمصالح الجامعات والمراكز الأكاديمية أيضاً. وبدلاً من أن يؤدي هذا الوضع إلى توفير حوافز مدرّة للمزيد من المكاسب، فإنه يثير القلق إزاء مشروعية استخدام منتجات الطبيعة أو العمليات الطبيعية، وإزاء المسؤولية المترتبة على ذلك. وقد يتسبب هذا التأثير الرادع في إبعاد كافة الجهات المهتمة، باستثناء أغناها، عن الاضطلاع بأنواع معينة من البحوث.

وتزداد هذه الآثار الرادعة حدة عندما يكون الشيء المحمي معلومات علمية – وليس بالضرورة عمليات أو أجهزة – مثل استخدام المتواليات الجينية، أو المعلومات المدرجة في إحدى قواعد البيانات أو أي عنصر آخر من العناصر الأساسية غير المادية التي تساهم في العمليات العلمية. فقد يقتضي مجرد استخدام المعلومات المتعلقة بالمنتجات النانومترية، في هذه الحالة، دفع رسوم وإبرام عقود من أجل الحصول على التراخيص اللازمة. وحتى إذا كانت البلدان النامية تملك أو تضع قوانينها الوطنية الخاصة بالملكية الفكرية، فإن هذا لا يجنبها ذلك النوع من المشكلات. وقد حاربت بلا هوادة منظمات دولية، مثل المنظمة العالمية للملكية الفكرية ومنظمة التجارة العالمية، وكذلك مجموعات صناعية لا تتأتى إيراداتها إلا من استغلال الملكية الفكرية (مثل صناعة السينما وصناعة التسجيلات)، على مدى السنوات العشر الماضية، في سبيل تنسيق وتعزيز قوانين الملكية الفكرية في جميع أرجاء العالم تقريباً.

وحل هذه المشكلة يكمن في تشجيع الانتفاع الحر بنتائج ومواد البحوث المموّلة من الموارد العامة – بل وإلزام الحكومات الوطنية بإتاحة هذا الانتفاع. بيد أن الاتجاه الراهن نحو الحماية اللامتناهية للملكية الفكرية يترتب عليه، في أفضل الحالات، ارتفاع شديد في تكاليف المعاملات التجارية بسبب التعقيدات المقترنة بها وسيؤدي، في أسوأ الحالات، إلى شل قدرة العلماء من الناحية الفعلية على إجراء البحوث بصورة مستقلة وعلى التحقق من صحة بعض المسائل العلمية. ولئن كان من السهل توفير الحوافز، فإن من الصعب تماماً إزالة التعقيدات القائمة في مجال الملكية الفكرية. ويعتبر نظام البراءات بديلاً سيئاً لعمليات استعراض البحوث وتكرارها على أيدي الأنداد، ومع ذلك فإن الحوافز تدفع العلماء صوب البحوث المستجدة التي تتيح إمكانية تسجيل البراءات أكثر مما تدفعهم صوب التوصل إلى النتائج الموثوق بها والقابلة للتكرار أو إلى الأدلة التجريبية الواضحة والواسعة النطاق التي قد تكون لها تطبيقات عملية محدودة. وهناك حاجة ماسة لأن توفر على نطاق واسع قواعد بيانات تتضمن نتائج البحوث المموّلة بأموال عامة ويمكن الانتفاع بها انتفاعاً حراً – ليس فقط في شكل إلكتروني بل في شكل مطبوع لخدمة البلدان التي لا تتوافر فيها فرص الوصول إلى الانترنت بصورة مستمرة أو بطريقة يعوّل عليها. وثمة أيضاً حاجة كبيرة إلى نشر قواعد جديدة تطبق على العلماء الذين تموّل أبحاثهم من الموارد العامة – أي قواعد لتشجع العلماء على نشر أعمالهم أولاً ثم السعي بعد ذلك إلى حمايتها بواسطة حقوق الملكية الفكرية.

فلا يمكن الحفاظ على نظام للبحث العلمي المفتوح والموثوق به والقابل للتكرار إلا عن طريق تشجيع العلميين على مراعاة المصلحة العامة العالمية في عملهم.

كما تتعرض العلوم لنوع ثان من الضغوط يتمثل في زيادة الرقابة العامة على البحوث والنتائج العلمية. فقد أصبحت الحكومات والجماهير تنظر بعين الحذر إلى تصريحات العلماء بعد وقوع عدد من الأحداث المدوية، ابتداء بالجدل الذي أثاره مؤتمر أسيلومار بشأن اختراع طريقة لإعادة تركيب جزيئات الدنا، ومروراً بكارثتي تشيرنوبيل وبوبال، والأزمة التي نجمت عن تفشي مرض اعتلال الدماغ الاسفنجي في البقر (جنون البقر)، وانتهاء بالجدل العام الذي أثارته الأغذية المعدلة وراثياً في أوروبا. وبالمثل، أصبحت البحوث العلمية تتجاوب بصورة متزايدة مع المطالب الاجتماعية والعامة؛ وثمة مثلان جيدان على ذلك هما الضغط الذي مارسه الناشطون المعنيون بمكافحة فيروس ومرض الأيدز على الباحثين في مجال العلوم الطبية من أجل زيادة البحوث المتعلقة بهذا المرض؛ ونجاح أخصائيي البيئة في إنشاء موائل تحمي الأحياء البرية وتحافظ عليها مع مراعاة الاحتياجات القائمة في مجالي صيد الأسماك والزراعة. وهذه الأنماط الجديدة للتفاعل بين العلماء والجمهور تصب في كثير من الأحيان في مصلحة الشركات التجارية الكبرى. وفي حالة التكنولوجيا النانومترية، يوجد شعور أقوى من أي وقت مضى بضرورة إشراك الجمهور في مرحلة أبكر، وبوتيرة أعلى لتفادي رد الفعل السلبي الذي استُقبِلت به الأغذية المعدلة وراثياً.

بإمكان المؤسسات الدولية، مثل اليونسكو، أن تقوم بتيسير مثل هذا الحوار بين الجمهور والعلماء. وإذا ما أريد توجيه البحوث في مجال التكنولوجيا النانومترية من وجهة نظر اجتماعية نحو حل المشكلات الأكثر إلحاحاً التي تواجه أكبر عدد من الناس، وجب الاعتماد على أشخاص قادرين ومؤسسات قادرة على إقامة صلات بين العلماء والمموّلين وأصحاب المشروعات الباحثين عن حلول للمشكلات من جهة، وبين الخبراء المحليين والخبراء في مجالات أخرى غير التكنولوجيا النانومترية، من جهة أخرى (وذلك مثلاً في ميدان إصلاح البيئة أو في ميدان سياسات المياه و/أو الطاقة في البلدان النامية).

وثمة نوع ثالث من الضغوط أقل وضوحاً بكثير ويتمثل في حماية الأسرار وفي تهديد الإرهاب، وهو يمارس بدافع من شاغلين، أولهما يتمثل في أن البحوث المنفذة في مجال التكنولوجيا النانومترية، حتى إن كانت بحوثاً أساسية، يمكن أن تستخدم من قبل الإرهابيين، لاستحداث أشكال جديدة من الأسلحة الفتاكة، أو من قبل الحكومات، لإنتاج أسلحة قد تنتهي يوماً ما في أيدي الإرهابيين. ونتيجة لهذا الشاغل، يمارس الضغط لكتمان وتصنيف نسبة كبيرة من البحوث المنفذة في مجال التكنولوجيا النانومترية (وكذلك في مجالي البيوتكنولوجيا والكيمياء) بوصفها معلومات سرية. أما الشاغل الثاني، فهو شاغل له سبب معاكس، ومبعثه هو الخشية من أن تستغل الحكومات الوطنية خطر الإرهاب لكي تصنف البحوث على أنها سرية، أو من أن تقوم، وهذا هو الأرجح، بنبذ النتائج العلمية التي ترى أنها لا تتوافق مع أهدافها السياسية. والقضية المطروحة هنا لا تتعلق بأهداف معينة تتوخاها الحكومات الوطنية بقدر ما تتعلق بمشروعية النتائج العلمية وبفصل العلوم عن المصالح الحكومية بصورة فعلية. فكلما توثقت العلاقة بين العلوم والمصالح الحكومية ستتضاءل على الأرجح فرص العلوم، حتى أكثرها تطوراً، في أن تبدو في نظر الرأي العام الوطني والدولي علوماً تتسم بالمشروعية والنزاهة. وفي هذه الحالة أيضاً، يمكن للمنظمات الدولية أن تقوم في المساعدة على تحديد معايير جديدة للسلوك العلمي – معايير من شأنها أن تحقق التوازن بين الحاجة الواضحة إلى تأمين الانفتاح في مجال العلوم، والضغوط السياسية التي تمارس لمنع انتشار المعلومات التي قد تكون خطيرة.

٣,٥ سيناريوهات تشتت الأنظار – قضايا تصوّر على أنها قضايا أخلاقية

جانبان من المناقشة الدائرة بشأن الانعكاسات الأخلاقية أو الاجتماعية للتكنولوجيا النانومترية استرعيا قدراً كبيراً من الاهتمام في الآونة الأخيرة: ما يسمى بسيناريو «الغراء الرمادي»، من جهة، وحركة «الإنسان الأعلى» من جهة أخرى. وسيناريو «الغراء الرمادي» هذا يستند إلى الخشية من أن تبرمج الأجهزة القائمة على التكنولوجيا النانومترية بطريقة تتيح لها التكاثر الذاتي، أو من أن «تتطور» لتصبح أجهزة قادرة على التكاثر الذاتي، واحتمال أن تقوم، إن هي فعلت ذلك، بتدمير العالم الطبيعي. بيد أنه لا يوجد في الوقت الحاضر أي منتج استحدث بواسطة التكنولوجيا النانومترية قادر على التكاثر ذاتياً (إلا إذا تضمّن تعريف التكنولوجيا النانومترية أشياء مثل الدنا والفيروسات، مما يجعل المناقشة أكثر لبساً). غير أن الفلاسفة وأخصائيي الأخلاقيات والعديد من العلماء يتحدثون عن هذه الأشياء كثيراً وكأنها موجودة بالفعل أو ستتاح في مستقبل قريب جداً. وتستند هذه الادعاءات في كثير من الأحيان إلى شكل من أشكال «الحتمية التكنولوجية» حيث تفترض الجهات المؤيدة أو الجهات المعارضة أن التكنولوجيا تتطور بصورة مستقلة، خارج سيطرة البشر أو المجتمع

أو الدولة. ولما كان هناك افتقار إلى بحوث تجريبية في هذا المجال، فسرعان ما يتخذ النقاش اتجاهين معاكسين بحيث يتعين على المرء أن يكون إما مؤيداً للتكنولوجيا النانومترية وإما مناهضاً لها.

ويعتبر سيناريو «الغراء الرمادي» من الأباطيل التي تشتت الانتباه لأنه يجبر النقاش الدائر بشأن القضايا الأخلاقية والاجتماعية على تناول المخاطر والإمكانيات التقنية التي تنطوي عليها بحوث المستقبل بدلاً من تدارس النظام الفعلي القائم في الوقت الحاضر لمراقبة البحوث وتنظيمها. والحلول المقترحة لدرء انهيال هذا «الغراء الرمادي» حلول افتراضية كالسيناريو نفسه، مما يصرف الانتباه عن الممارسات المتبعة في الوقت الراهن في مجال العلوم والتكنولوجيا وعن الحاجة إلى تأمين رقابة دقيقة وتنظيم مناقشة معمقة تُعنى بالمشكلات والممارسات الراهنة بدلاً من الانصراف إلى رسم سيناريوهات للمستقبل من صنع الخيال.

كما تُروج المناقشات التي تجرى بشأن «حركة الإنسان الأعلى» لسيناريو آخر. فهذه المناقشات تدور حول استخدام التكنولوجيا النانومترية في أغراض مقترحة من أجل تحسين بعض الخصائص البشرية أو إصلاحها أو إبدالها أو تعزيزها. وتمتد تشكيلة هذه الأدوات الرامية إلى تحسين الخصائص البشرية من أجهزة الاستشعار النانومترية التي يمكن دمجها في الشبكية لتحسين النظر، والأجهزة التي تُغرس في قوقعة الأذن لتحسين السمع، إلى تكنولوجيات تحسين أداء اللاعبين الرياضيين، والأشكال الجديدة من جراحة التجميل.

وتثير المناقشات بشأن حركة «الإنسان الأعلى» مشكلة معاكسة للمشكلات التي يطرحها سيناريو «الغراء الرمادي»: فهي تقوم على افتراض أننا سنواجه في المستقبل معضلات أخلاقية ناجمة عن التكنولوجيا النانومترية وأنه يتعين علينا التأهب لها، في حين أن هذه المعضلات أصبحت في الواقع قضايا نواجهها بالفعل في الوقت الحاضر مثل استخدام العقاقير لتحسين الأداء الرياضي، أو فحص الجينات للكشف عن صفات بشرية معينة، أو الشواغل التي تثور بشأن سرية المعلومات الخاصة عندما تغرس في الجسم أجهزة تستخدم فيها تكنولوجيا المعلومات. وكان من المفترض أن توفر التكنولوجيا النانومترية فرصة على الأقل لتركيز اهتمامنا من جديد على هذه الشواغل ولإيجاد حلول حقيقية للقضايا المطروحة اليوم والتي ستطرح في المستقبل. وقد نشرت اليونسكو بالفعل دراسات تحليلية (مثل الدراسة المعنونة «الاستنسال البشري: قضايا أخلاقية») يمكن أن تنطبق مع تعديلات بسيطة فقط على بعض القضايا المتعلقة بتحسين الصفات البشرية من خلال التكنولوجيا النانومترية.

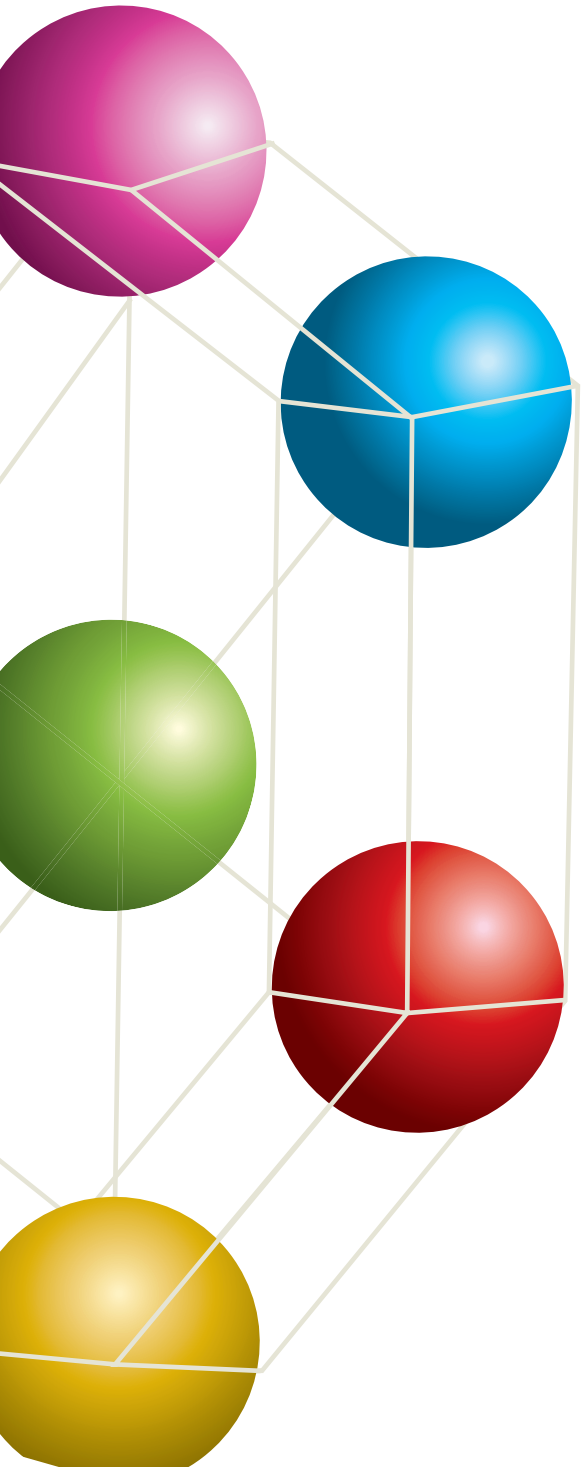
فإذا تسنّى إقناع صانعي السياسات، والمسؤولين المنتخبين، والمعينين، والمنظمات غير الحكومية، والمنظمات المدافعة عن الشواغل العامة، بألا يدعوا هاتين المسألتين تشتتا انتباههم، لأمكنهم العناية بعدد من القضايا الملحة الأخرى التي تستوجب مناقشة جدية، وأشكالاً مبتكرة من السياسات ومن آليات الإشراف النظامي. وتشتمل هذه القضايا على ما يلي: أخطار السُّمية، والأخطار البيئية ومخاطر التعرّض لها، ووضع البطاقات على المنتجات، وتوعية المستهلكين، وإصدار اللوائح الخاصة بالمنتجات؛ والملكية الفكرية، والسرية، وجدارة البحوث العلمية الدولية بالثقة ومدى تمتعها بالمشروعية، واحتمال ظهور فجوات علمية وتقنية على المستوى الدولي، والأهم من ذلك، الترويج لاستعمالات التكنولوجيا النانومترية التي تساعد على تلبية أكثر الاحتياجات إلحاحاً بالنسبة لأكبر عدد من الناس.

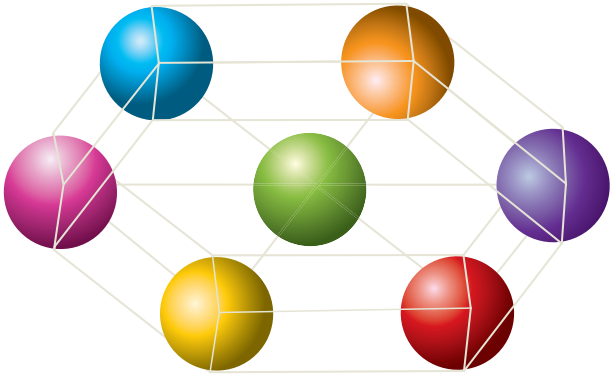
ويتداخل كثير من هذه القضايا مع المناقشات الدائرة حول قضايا أخلاقية وسياسية راهنة أخرى – ولذلك ينبغي معالجتها مع الاستفادة من المناقشات الجارية، بدلاً من الانطلاق من الصفر. فقضايا الملكية الفكرية مثلاً قد نوقشت بالفعل على نطاق واسع في سياق المناقشات المتعلقة بالبيوتكنولوجيا وتكنولوجيا المعلومات؛ كما أن المناقشات التي تجرى بشأن الأخلاقيات الطبية تتناول بالفعل قضايا تحسين الصفات، والأخطار الطبية، وإجراء البحوث على الإنسان. وعلى الرغم من أن التكنولوجيا النانومترية تعتبر مجالاً جديداً ومثيراً، فإن القضايا الأخلاقية والسياسية التي تثيرها لا تختلف اختلافاً جذرياً عن القضايا التي نواجهها بالفعل في مجالات أخرى – ولكنها قد توفر فرصة لمعالجة هذه القضايا على نحو أنجح من أي وقت مضى.

٤ الخلاصة

تمرّ التكنولوجيا النانومترية بمفترق طرق، وظهور توافق في الآراء بشأن اتجاه التكنولوجيا النانومترية وسلامتها وجدواها وتمويلها، سيعتمد على التعريف الذي سيعطى لها، وعلى الأطراف التي ستشارك فيها بالتالي. ويمكن القول، دون مجانبة الصواب، إنه مع تزايد اعتماد عالمنا على العلوم والتكنولوجيا، ومع تزايد وعي الجمهور بالأخطار والإمكانيات التي تنطويان عليها ستتجه مساهمة مختلف الأطراف المشاركة إلى التركيز على المراحل التمهيدية – أي على صميم الأعمال العلمية نفسها.

ومن جهة أخرى، فإن العناية الواسعة والاهتمام الحماسي اللذين تبديهما طائفة متنوّعة من الجماعات – ابتداء من الحكومات إلى المنظمات غير الربحية، ومن الشركات إلى مجموعات النشطاء – سيتطلبان أيضاً تنسيقاً متضافراً. وقد بات من الواضح أن هناك بالفعل عدداً كافياً من الأشخاص الراغبين في تقديم مساهمة، وأن الحاجة إلى إنشاء مؤسسات أو وكالات جديدة أو جماعات منعزلة تتضاءل، في حين تتزايد الحاجة إلى دعم وتعزيز المؤسسات والوكالات والجماعات القائمة بالفعل.





٥ الملحق

فهرس بأحدث التقارير عن التكنولوجيا النانومترية

يحتوي هذا الفهرس على قائمة بأحدث التقارير التي نشرت عن التكنولوجيا النانومترية وانعكاساتها وعما تطرحه من قضايا اجتماعية أو سياسية أو أخلاقية.

- **UK Royal Society and Royal Academy of Engineers Report**
  'Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties'
  http://www.nanotec.org.uk
- **The Action Group on Erosion, Technology and Concentration (ETC)**
  'The Big Down'
  http://www.etcgroup.org/documents/TheBigDown.pdf

  'Down on the Farm'
  http://www.etcgroup.org/documents/ETC_DOTFarm2004.pdf
  http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=485
- **Demos**
  'See Through Science'
  http://www.demos.co.uk/catalogue/paddlingupstream
- **European Commission Community Health and Consumer Protection**
  'Nanotechnologies: A preliminary risk analysis'
  1-2 March, 2004
  http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/events_risk_en.htm
- **Swiss Re Report**
  'Nanotechnology – small matter, many unknowns'
  http://www.swissre.com/INTERNET/pwswpspr.nsf/alldocbyidkeylu/ULUR-5YAFFS
- **NSF/Meridian Institute International**
  '"Nanodialogues" on Risk, Nanotechnology and the Poor and Regulation'
  http://www.nanodialogues.org
- **NSF NBIC Report**
  'Converging Technologies for Improving Human Performance'
  http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies
- **National Research Council**
  'Small Wonders, Endless Frontiers, a Review of the National Nanotechnology Initiative' *(2002)*
  http://www.nap.edu/openbook/0309084547/html/1.html
- **UK Nanojury 2005**
  http://www.nanojury.org
- **Woodrow Wilson Report**
  'Nanotechnology and Regulation: The case of the TSCA'
  http://nanotechcongress.com/Nanotech-Regulation.pdf

قسم أخلاقيات العلوم والتكنولوجيا التابع لليونسكو

يجسد قسم أخلاقيات العلوم والتكنولوجيا الأولوية التي توليها اليونسكو لأخلاقيات العلوم والتكنولوجيا، ولأخلاقيات البيولوجيا بوجه خاص. ويتمثل أحد أهداف الاستراتيجية المتوسطة الأجل للمنظمة في «تعزيز المبادئ والمعايير الأخلاقية التي يسترشد بها في تحقيق التنمية العلمية والتكنولوجية والتحول الاجتماعي».

وتشمل أنشطة القسم تقديم الدعم إلى الدول الأعضاء، في اليونسكو، التي تسعى إلى استحداث أنشطة تتعلق بأخلاقيات العلوم والتكنولوجيا مثل إعداد البرامج التعليمية، أو إنشاء لجان وطنية معنية بالأخلاقيات، أو تنظيم مؤتمرات، أو إنشاء كراس جامعية لليونسكو.

كما ينهض القسم بمهام الأمانة التنفيذية للهيئات الدولية الثلاث المعنية بالأخلاقيات، وهي اللجنة العالمية لأخلاقيات المعارف العلمية والتكنولوجية (كومست)، واللجنة الدولية لأخلاقيات البيولوجيا، واللجنة الدولية الحكومية لأخلاقيات البيولوجيا.

اليونسكو
قسم أخلاقيات العلوم والتكنولوجيا
قطاع العلوم الاجتماعية والإنسانية

UNESCO
Division of Ethics Science and Technology
Social and Human Sciences Sector
1, rue Miollis
75732 Paris Cedex 15
France
http://www.unesco.org/shs/ethics