

# التحيّزات الفلسفيّة للعلم

فريدريك أندرسن، راني ليل أنجوم، إلينا روكا

ترجمة: مروان الرشيد

Philosophical bias is the one bias that science cannot avoid

FREDRIK ANDERSEN, RANI LILL ANJUM, AND ELENA ROCCA

Andersen et al. eLife 2019;8:e44929.



## التحيُّزُ الفلسفي هو التحيُّزُ الوحيد الذي لا يسع العلم تجنُّبه

### مُلخَّص

يسعى العلماء إلى التخلُّص من جميع صور التحيُّز في بحوثهم؛ بيد أنَّهم أيضًا يفترضون افتراضاتٍ من طبيعة غير إمبيريقية، في موضوعاتٍ كالسببية والحتمية والاختزالية، عندما يجرون أبحاثهم. ونجادل هنا أنه ما دام لا يوجد مفر من «التحيُّزات الفلسفية»، فإن على العلماء وفلاسفة العلم أن يتناولونها تناوُلًا نقديًا.

العلماء حريصون على تجنُّب التحيُّز، أيًا كان نوعه، لأنه يهدِّد المثل العلمية كالموضوعية والشفافية والعقلانية. وقد قام المجتمع العلمي بجهودٍ مُضنية في كشف الأنواع المُختلفة من التحيُّزات وتوضيحها وفحصها فحصًا نقديًا (Sack- ett, 1979; Ioannidis, 2005; Ioannidis, 2018; Macleod et al., 2015). وأحد أمثلة هذا، الفهرس الذي يحوي كلَّ التحيُّزات التي تُؤثِّر في الدليل الطبي، والذي أعدّه مركز الطب القائم على الدليل في جامعة أوكسفورد (catalogueofbias.org). وهذا الوعي يُنظر إليها عادةً بوصفه خطوةً مهمةً لجعل العلم موضوعيًا وشفافًا وخاليًا من التحيُّزات.

ولكن هناك استثناء لهذه القاعدة، وهي التحيُّزات التي تُسمَّى «التحيُّز الفلسفي». وهذه افتراضاتٌ مُضمرة أولية في العلم حيال ماهية العالم (الأنطولوجيا)، أو ما الذي يمكننا أن نعرفه عنه (الأبستمولوجيا)، أو حول كيف يجب أن يُمارس العلم (المعايير والقواعد). وكما سنرى، فإنَّ التحيُّزات الفلسفية تُؤثِّر في الممارسة العلمية وتُعلِّمها وتُمكنها، باختصار هي جزءٌ أصيلٌ في العلم.

تُعدُّ الافتراضات الفلسفية تحيُّزاتٍ لأنها تحرف تطوُّر الفرضيات وتصميم التجارب وتقويم الدليل وتفسير النتائج في اتجاهاتٍ معينة. وفي بحثنا نظرنا في التحيُّزات المُتصلة بالافتراضات الأنطولوجية والإبستمولوجية والمعيارية، التي تتعلَّق بالسببية والاحتمالية والتعقيد. ولإعطاء مثال متصلٍ بالسببية: عند اختيار منهجٍ علميٍّ لإقامة علاقة سببية بين حالة طبية وفيروس ما، يجب أن يكون لدينا فكرة عن ماهية السببية. وهذا جزءٌ من العلم لا يمكن أن يُكتشف إمبيريقياً، لكنه يُفترض ضمناً في الممارسة والمنهجية العلميتين.

### أمثلة على التحيُّز الفلسفي

ممارسة العلم بلا افتراض فرضياتٍ فلسفية أمرٌ مُستحيل. ولكن هل كلُّ الافتراضات الفلسفية تحيُّزات؟ لا، فأحيانًا قد يختار العالم هذه الافتراضات بتعمُّد ووضوح، ويستخدمها بوصفها مُقدِّماتٍ منطقية مُساعدة لأغراضٍ نظرية. فعلى سبيل المثال، قد يأخذ المرء بافتراضٍ فلسفي، كالحتمية، لجعل



نموذج ما يعمل. والحتمية هي الافتراض القائل إنه بالنظر إلى مجموعةٍ من الظروف الابتدائية، لا يوجد إلا نتيجة مُمكنة واحدة. فمثلاً، يمكن بناء نموذج لنمو مجموعة سكانية، نفترض فيه أن النمو محتوم بالكثافة السكانية الابتدائية؛ ومن ثمَّ أيُّ انحرافات عن تنبؤات النموذج يمكن اعتبارها دليلاً على وجود عوامل، غير الظروف الابتدائية، لها تأثير في الزيادة السكانية (Higgins et al., 1997). ولذا حتى لو لم يعتقد المرء بصحة الحتمية أو افتراض فلسفيٍّ آخر في جميع المواقف، إلا أنَّ الأخذ بهذا الافتراض يمكن أن يخدم غرضاً.

عندما تُصطفى المقدمات المنطقية الفلسفية بوضوح وقصد، على هذا النحو، فلسنا نسميها «تحيزات». ولكن في بعض الحالات، لا يعي العلماء هذه الافتراضات ولا يعلمون تأثيرها في البحث. وعندما تُقبل المقدمات المنطقية ضمنياً في نظريتنا ومناهجنا، تغدو تحيزاً فلسفياً. كيف يؤثّر هذا في علوم الحياة؟ تُكتسب التحيزات الفلسفية عادةً من التعليم العلمي أو الممارسة العملية أو من التخصصات الأخرى التي تُعرّف الباراديم العلمي. وهذا السبب الذي يجعل العلماء الآتين من خلفياتٍ متفاوتة يقعون في تحيزات فلسفية مختلفة. فعلم الأحياء -على سبيل المثال- معنيٌّ بالكائنات (Entities) والسيرورات (Processes) على حدٍ سواء (Nicholson and Dupre, 2018)، والافتراض الأنطولوجي الأساسي هو أنَّ الكائنات (مثلاً البروتين) أكثر أساسيةً من السيرورات، وأن السيرورات ناتجةٌ عن تفاعل الكائنات. ولقد عدَّ الأحيائيون الجزئيون هذا الرأي أنه الرأي المُتعارف عليه. فقدرة الكائنات، كالبروتينات، على التفاعل مع بعضها بعضاً يتحدد ببنيتها الكيميائية؛ ولذا من أجل فهم السيرورات (من قبيل التفاعل بين البروتينات)، علينا أن نفهم الكائنات نفسها بالتفصيل.

ولكن بعض العلماء يرون أن السيرورات أكثر أساسيةً من الكائنات (Guttinger, 2018). وفي هذا الرأي، تُفهم الكائنات على أنها نتيجة سيرورات مُستقرة لمدة معينة من الزمن؛ وأفضل طريقة، لفهم سلوك إحدى الكائنات، هي في دراسة العلاقات التي لها بالكائنات الأخرى، بدلاً من دراسة بنيتها الداخلية. ويميل علماء البيئة إلى الأخذ بهذا الرأي، مُفكرين في نُظُمٍ تتحدّد فيها خصائص الأفراد والأنواع بعلاقتها ببعضها بعضاً وبعلاقتها ببيئتها.

التوتر بين هذين الموقفين الأنطولوجيين ليس فلسفياً أو تجريدياً فحسب، إذ يمكن أن يكون له تبعات عملية. فالعلماء البيئة والأحيائيين الجزئيين -على سبيل المثال- يختلفون حول أمان المحاصيل المعدلة وراثياً في الجدالات المبكرة. إذ ركّز علماء البيئة على الآثار البيئية غير المتوقعة التي تتسبب بها المحاصيل البيئية المعدلة وراثياً، ولم يكن لهم رأي قوي في التشابهات والاختلافات بين المحاصيل التقليدية والمعدلة وراثياً. أما علماء الأحياء الجزئية، فقد ركزوا على التطابق بين المحاصيل المعدلة والتقليدية، في الوقت الذي صرفوا فيه النظر عن الآثار البيئية (Kvakkestad et al., 2007). درس اثنان من مؤلفي هذه الورقة (إلينا روكا وفريدريك أندرسن) صداماً شبيهاً للتحيزات الفلسفية في الجدل حول تكديس النباتات المعدلة وراثياً (أي النباتات المعدلة وراثياً التي تُطبّق عليها تقنيات الزراعة التقليدية). Rocca and Andersen, 2017). فإحدى مدارس الفكر ترى أنَّ النبتة المتولدة بوصفها نبتة هجينة تقليدية، وتجادل





أن المرء يمكنه -في أغلب الحالات- أن يستنبط أمان النبتة الجديدة من معرفته بأمان النباتات المعدلة وراثيًا الأصلية. وهذا يعني التفكير بالتعقيد بوصفه تركيبات مُختلفة من أجزاء لا تتغيّر. أما المدرسة الأخرى فتجادل أنّه لا يمكن استنباط أمان النبتة الجديدة من أمان النباتات المعدلة وراثيًا الأصلية، فهنا يُرى التعقيد على أنها أمر انبثاقي (Emergent)، إذ تفقد الأجزاء خواصها وهويتها في سيرورة التفاعل. ومن المهم أن يعي صنّاع القرار (كالحكومات والهيئات التنظيمية) الأبعاد غير الإمبريقية للعلم، عند سنّ القوانين والتنظيمات في المجالات المتنازع فيها.

### الجدالات الفلسفية في العلم والطب

هل يُبالي العلماء، عادةً، بالتحيزات الفلسفية؟ لقد قدّم توماس كون، في كتابه «بنية الثورات العلمية»، فكرة الباراديمات والتحوّلات الباراديمية في العلم. ففي الباراديمات العلمية، يوجد إجماعٌ عامٌ بين الباحثين على النظريات الرئيسية والمفاهيم المركزية والمسائل البحثية المتصلة وإجراءات البحث المعيارية والآليات الأساسية. ويسمى كون هذه المرحلة «العلم العادي»، ويجادل أنّ دور العلماء هو ملء الثغرات المعرفية التي توجد في هذا الباراديم. ولذلك، في زمن العلم العادي، لا توجد حاجة أو اهتمام بالنقاشات الفلسفية في أسس الموضوع العلمي. ولكن -وفقًا لكون- عندما ينخرط العلماء بجدالاتٍ فلسفية في موضوعهم، فإنّ تحوّلًا في الباراديم يُوشك أن يحدث (Kuhn, 1962). ولعلّ المثال الأشهر، على تحوّل في الباراديم، هو ظهور النظرية الكميّة في الفيزياء، التي تحدّت الافتراضات الأولية المتعلّقة بطبيعة السببية والزمان والمكان والحتميّة. وكان للجدالات الفلسفية، بين أينشتاين وبور وغيرهما، دورٌ مركزيٌّ في تطوّر النظرية الكميّة.

والجدالات الفلسفية القائمة في الطب حول عددٍ من الموضوعات -من قبيل المقاربات التي تُثري القرارات الطبية، ونماذج فهم الصحة والمرض، والمعايير العلمية لجمع المعرفة العلمية (Greenhalgh et al., 2014; Loughlin et al., 2018; Anjum and Mumford, 2018)- قد تُوحي بوجود أزمة باراديم. وأحد النقاشات يدور حول النموذج الطبي-الحيوي للصحة والمرض، الذي كان الرؤية السائدة في الطب لعقود. فنُقّاد هذا النموذج يجادلون أنه اختزالي بطبيعته، بمعنى أنّ الأسباب الطبية والتعليلات المتصلة محصورة على المستوى البدني، ومن ثمّ يتجاهل العوامل النفسية والاجتماعية وغيرها من العوامل العليا على البيولوجيا الإنسانية.

نقاش فلسفي آخر في الطب يتعلّق بالتجارب المنضبطة المُعشّاة (RCTs)، والدور الذي تضطلع به بوصفها المعيار الذهبي لإثبات السببية. ففي هذه التجارب، يُفهم أنّ التداخل متصف بالسببية إن كانت نتائج المجموعة المُختبرة (المجموعة التي تتلقى التداخل) ونتائج المجموعة المرجعية، مختلفة على نحوٍ له دلالة إحصائية. ووفقًا لأعراف ومعايير العلم القائم على الدليل، يجب أن تُرشد نتائج التجارب المنضبطة المعشّاة القرارات الإكلينيكية المتعلقة بالمرضى (Howick, 2011). ولكن هذا يقود فورًا إلى توتر بين منظور الصحة العام، حيث تُعطى النصيحة الطبيعية على مستوى السكّان، والمنظور الإكلينيكي، حيث تُعطى





النصيحة لكل مريضٍ على حدة. ويمكن الجدل أن معالجة المريض على أساس ما ينفع المجموعة، مثال على المغالطة البيئية: أي الاستدلال من المجموعة إلى الفرد. بيد أن هذا الاستدلال سليم في ضوء افتراضٍ فلسفيٍّ يُدعى التواترية (Frequentism)، فيه تُشتق النزعات الفردية من التواترات الإحصائية. وهكذا فإن التواترات في التفكير والممارسة الطبية يمكن أن تكون أصولها في التحيزات الأنطولوجية والأبستمولوجية والمعارية.

### هل يجب على العلم أن يتغلب على التحيزات الفلسفية؟

الوعي، في العادة، هو الخطوة الأولى للتغلب على بعض أنواع التحيز. ولكن هذا لا يُجدي في حالة التحيزات الفلسفية. فقد رأينا أن الافتراضات الأساسية مقدمات منطقية مهمة في العلم، وهي تُمثل العدسات التي نرى من خلالها المعلومات الجديدة. فحتى لو وضّحت هذه الافتراضات وتُحدّيت، فليس لنا إلا أن نستبدلها بتحيزات بديلة. فبانكار الثنائية أو الاختزالية أو الحتمية -على سبيل المثال- يجب على المرء أن يتبنى غيرها، كالكلية أو الانبثاقية أو غير التحديدية. فلماذا يجب أن يُزعج العلماء أنفسهم بهذه العملية؟

أولاً، إجماع التحيزات الفلسفية مفيد لأنه يكشف عن المنظورات المتنافسة (Douglas, 2000)، وهذا أمر مهمٌ في التقدم العلمي. وعلاوة على ذلك، هذا يمنع العلم من أن يكون مشروعاً دُغمائياً. فعلى سبيل المثال، المخاطر الصحية المتعلقة بالتعرض لأخلاط كيميائية مُركّبة، كالبترول، كانت تُحسب تقليدياً بجمع المُركّبات في شرائح لها خواص كيميائية مُتشابهة، ومن ثمّ يكون لها نفس السُميّة والتوافر الحيوي. وكلُّ شريحة يُعيّن لها «جرعة مرجعية»، وهي الجرعة القصوى التي تعد آمنة (بناءً على الاختبارات المعملية والرصد قصير الأجل بعد التسرّبات النفطية السابقة)، وثم تُستخدم صيغة رياضية لجمع الجرعات المرجعية لكلِّ شريحة والتنبؤ بالمخاطر الصحية للخليط (Vorhees and Butler, 1999).

لكنّ هذه الطريقة في حساب المخاطر الصحية ما هي إلا ضربٌ من الاختزالية (Hohwy and Kallestrup, 2008)؛ لأنها قائمة على تفكيك خليط كيميائي إلى أجزاء صغيرة، وتحليل هذه الأجزاء بمفردها، ومن ثمّ إعادة جمعها. وهذه المقاربة عُدّت لفترة طويلة من الزمن المقاربة الأوثق علمياً، ولكن مؤخراً جرى مُساءلة افتراض أنّ المناهج الاختزالية هي الأوثق علمياً (Peterson et al., 2003). فافتراض مُنافسٌ هو أنّ مخاطر جديدة تنبثق على مُستوى الكل، يمكن أن توجد عند دراسة الأجزاء؛ وهذا يعني أنّ التفاعلات بين الأجزاء قد تقود إلى تغييرات في الأجزاء نفسها، وهذا يُغيّر الكل أيضاً (Anjum and Mumford, 2017). وهذه المقاربة الأخيرة، التي تقوم على افتراض فلسفيٍّ مختلفٍ عن ذلك التي تقوم عليه المقاربة التقليدية، أدّت إلى نوعٍ من التنبؤ بالمخاطر يدعى: علم السموم القائم على النُظم الإيكولوجية (Peterson et al., 2003).

وثانياً، يمكن أن تُؤثّر التحيزات الفلسفية في تقويم النتائج الفلسفية، خصوصاً حين تكون هذه التحيزات من طبيعة إبستمولوجية. فعندنا يُعطى العلماء نفس الدليل، قد يعد بعضهم الموثوقية، أو





الصلاحية الداخلية، الخاصة المعرفية الأكثر أهمية. وعمومًا، هؤلاء العلماء يطلبون دليلًا من التجارب المنضبطة المعشاة، إذ تُضبط العوامل المُتداخلة لأجل تحديد السببية، ويكونون مُتشكِّكين من الدليل الوبائي (Allmers et al., 2009). أما غيرهم من العلماء، فقد يُفضِّلون دليلًا مُتضافرًا من أكثر من منهج واحد، كالل دليل الوبائي وعلاقة الاستجابة للجرعة وآلية مُقنعة (Osimani and Mignini, 2015). ومع ذلك، فقد يؤكِّد آخرون على الصلاحية الخارجية، بدليل من عينة مُمثلة للحالات ذات العلاقة، بالإضافة إلى دليل على آلية سببية، لتكون كافيةً لإثبات السببية (Anjum and Rocca, 2018; Hicks, 2015; Edwards, 2018). والعلماء، الذين يناصرون أيًا من هذه المواقف، يجب أن يكونوا قادرين على تسويق السبب الذي من أجله يجب أن يكون لتحيزهم المعرفي الأولوية؛ والوعي بالتحيز هو المقدمة الضرورية لأي جدالٍ من هذا القبيل.

### يجب أن نتحدَّث في العلم والفلسفة

ما الذي يمكننا أن نفعله لتسهيل وتشجيع النقاش حول التحيزات الفلسفية في العلم؟ إدراك هذه التحيزات مُنطلقٌ جيّد، ولكن مسؤولية هذا لا يجب أن تُترك على عاتق أفراد العلماء، وإنما نحن بحاجة إلى تكوين ثقافة في المجتمع العلمي لأجل مناقشة المسائل المفهومية والماوراء إمبريقية على نحو نقدي، وهذا يجب أن يشمل الجامعات ومراكز الأبحاث والمجلات العلمية، ويجب أن يُساهم فلاسفة العلم في هذه العملية بالعمل على إشراك الطلاب والباحثين في النقاشات التي تدور حول الأساس الفلسفي للمعايير والمناهج والممارسات العلمية.

وفي مؤسستنا -مركز الجامعة النرويجية لعلوم الحياة للفلسفة التطبيقية في النرويج- وجدنا أنّ الطلاب والباحثين يصبحون مهتمين بنقاش هذه المسائل ما إن يعوها. ولنظام التعليم العالي النرويجي تقليد قديم في تدريس فلسفة العلم لطلاب الماجستير والدكتوراه، والجامعات البولندية مشهورة بتدريس العلمي الصارم الذي يتلقاه طلاب فلسفة العلم. وهذه المبادرات تُشير في الاتجاه الذي نريد أن نراه: علماء مُطلعين فلسفيًا وفلاسفة مُطلعين علميًا، ومستعدين لنقاش بعضهم بعضًا في موضوعات تهمهم معًا.





## ملاحظة

هذه المقالة جزء من مجموعة فلسفة علم الأحياء.

## إقرار بالفضل

نشكر ماري ليندكويست ورالف إدواردز على نقاشاتهم الضافية ودعمهم لأفكارنا، كما نشكر جفري أرونسون على الإفادة المفصّلة لكيفية تحسين المسوّدة.

فريدريك أندرسن في مركز الجامعة النرويجية لعلوم الحياة للفلسفة التطبيقية، وكلية الاقتصاد والأعمال، والجامعة النرويجية لعلوم الحياة في آس النرويج، وكلية الصحة والرفاه في جامعة أوستفولد في هالدين النرويج.

<https://orcid.org/0000-0001-6519-9880>

راني ليل أنجوم في مركز الجامعة النرويجية لعلوم الحياة للفلسفة التطبيقية، وكلية الاقتصاد والأعمال، والجامعة النرويجية لعلوم الحياة في آس النرويج.

<https://orcid.org/0000-0002-0632-444X>

إلينا روكا في مركز الجامعة النرويجية لعلوم الحياة للفلسفة التطبيقية، وكلية الاقتصاد والأعمال، والجامعة النرويجية لعلوم الحياة في آس النرويج.

<http://orcid.org/0000-0002-5222-0238>





## المراجع

Allmers H, Skudlik C, John SM. 2009. Acetaminophen use: a risk for asthma? *Current Allergy and Asthma Reports* 9:164–167. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11882-009-0024-3>, PMID: 19210907

Andersen et al. *eLife* 2019;8:e44929. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.44929>

4 of 5

Feature article

Philosophy of Biology Philosophical bias is the one bias that science cannot avoid

Anjum RL, Mumford S. 2017. Emergence and demergence. In: Paoletti M, Orilia F (Eds). *Philosophical and Scientific Perspectives on Downward Causation..* Routledge. p. 92–109. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315638577-6>

Anjum RL, Mumford S. 2018. *Causation in Science and the Methods of Scientific Discovery.* Oxford: Oxford University Press. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198733669.001.0001>

Anjum RL, Rocca E. 2018. From ideal to real risk: philosophy of causation meets risk analysis. *Risk Analysis* 39:729–740. DOI: <https://doi.org/10.1111/risa.13187>, PMID: 30229973

Douglas H. 2000. Inductive risk and values in science. *Philosophy of Science* 67:559–579. DOI: <https://doi.org/10.1086/392855>

Edwards IR. 2018. Living with complexity and big data. *Uppsala Reports.* <https://view.publitas.com/uppsala-monitoring-centre/uppsala-reports-78/page/28-29> [Accessed January 22, 2019].

Engel GL. 1977. The need for a new medical model: a challenge for biomedicine. *Science* 196:129–136.

DOI: <https://doi.org/10.1126/science.847460>, PMID: 847460

Greenhalgh T, Howick J, Maskrey N, Evidence Based Medicine Renaissance Group. 2014. Evidence based medicine: a movement in crisis? *BMJ* 348:g3725.

DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.g3725>, PMID: 24 927763





Guttinger S. 2018. A process ontology for molecular biology. In: Nicholson D, Dupre J (Eds). *Everything Flows. Towards a Processual Philosophy of Biology*. Oxford: Oxford University Press. p. 303–320.

Hicks DJ. 2015. Epistemological depth in a GM crops controversy. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 50:1–12.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2015.02.002> Higgins K, Alan H, Jacob NS, Louis WB. 1997. Stochastic dynamics and deterministic skeletons: population behavior of Dungeness crab. *Science* 276: 1431–1435. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.276.5317.1431>

Hohwy J, Kallestrup J. 2008. *Being Reduced. New Essays on Reduction, Explanation, and Causation*. Oxford: Oxford University Press. DOI: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199211531.001.0001>

Howick J. 2011. *The Philosophy of Evidence-Based Medicine*. Wiley-Blackwell. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781444342673>

Ioannidis JP. 2005. Why most published research findings are false. *PLOS Medicine* 2:e124. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020124>, PMID: 16060722

Ioannidis JP. 2018. Meta-research: why research on research matters. *PLOS Biology* 16:e2005468. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2005468>, PMID: 29534060

Kuhn T. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

Kvakkestad V, Gillund F, Kjolberg KA, Vatn A. 2007. Scientists' perspectives on the deliberate release of GM crops. *Environmental Values* 16:79–104.

DOI: <https://doi.org/10.3197/096327107780160373> Loughlin M, Mercuri M, Pavarin A, Copeland SM, Tonelli M, Buetow S. 2018. Treating real people: science and humanity. *Journal of Evaluation in Clinical Practice* 24:919–929. DOI: <https://doi.org/10.1111/jep.13024>, PMID: 30159956





Macleod MR, Lawson McLean A, Kyriakopoulou A, Serghiou S, de Wilde A, Sherratt N, Hirst T, Hemblade R, Bahor Z, Nunes-Fonseca C, Potluru A, Thomson A, Baginskaite J, Egan K, Vesterinen H, Currie GL, Churilov L, Howells DW, Sena ES. 2015. Risk of bias in reports of in vivo research: a focus for improvement. *PLOS Biology* 13:e1002301. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002301>, PMID: 26556632 Nicholson D, Dupré J. 2018. *Everything Flows. Towards a Processual Philosophy of Biology*. Oxford: Oxford University Press. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198779636.001.0001>

Osimani B, Mignini F. 2015. Causal assessment of pharmaceutical treatments: why standards of evidence should not be the same for benefits and harms? *Drug Safety* 38:1–11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40264-014-0249-5>, PMID: 25519721

Peterson CH, Rice SD, Short JW, Esler D, Bodkin JL, Ballachey BE, Irons DB. 2003. Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. *Science* 302: 2082–2086. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1084282>, PMID: 14684812

Rocca E, Andersen F. 2017. How biological background assumptions influence scientific risk evaluation of stacked genetically modified plants: an analysis of research hypotheses and argumentations. *Life Sciences, Society and Policy* 13:11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40504-017-0057-7>, PMID: 28804806 Sackett DL. 1979. Bias in analytic research. *Journal of Chronic Diseases* 32:51–63. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-9681\(79\)90012-2](https://doi.org/10.1016/0021-9681(79)90012-2), PMID: 447779

Vorhees DJ, Butler CL. 1999. Calculation of human health risk-based screening levels (RBSLs) for petroleum. *Drug and Chemical Toxicology* 22:293–310. DOI: <https://doi.org/10.3109/01480549909029737>, PMID: 10189584

