



NOUVELLES TECHNOLOGIES SCIENTIFIQUES : NAVIGUER SUR LE CHEMIN DU BIEN ET DU MAL

Susan J. Debad¹ et Juan Enriquez^{2*}

¹SJD Consulting LLC, Ijamsville, MD, États-Unis

²Excel Venture Management, Boston, MA, États-Unis

Pour guider nos décisions et nos actions dans notre vie quotidienne, nous nous appuyons souvent sur notre sens du bien et du mal, appelé éthique. Notre éthique nous aide à être gentils, honnêtes et justes. Les scientifiques ont également des règles éthiques à suivre pour s'assurer que leurs recherches – et les puissantes technologies qui en découlent – sont utilisées pour aider les gens, et non pour leur nuire. Pour les scientifiques, les lignes directrices d'éthique comprennent le respect des droits de l'homme, la limitation des dommages causés aux animaux, la sécurité du public et l'honnêteté et la véracité de leur travail. Dans cet article, nous expliquerons ce qu'est l'éthique scientifique et pourquoi une éthique forte est particulièrement importante à mesure que de nouvelles technologies puissantes se développent plus rapidement. Nous donnerons des exemples de ce qui peut arriver si les scientifiques ne suivent pas les règles éthiques et expliquerons comment ces situations ne sont pas toujours simples. Enfin, nous décrirons comment les nouvelles technologies peuvent changer les comportements que les sociétés considèrent comme éthiques. Joins-toi à nous pour explorer la « conscience » de la science !

QU'EST-CE QUE L'ÉTHIQUE ?

Comment distinguer le bien du mal ? Est-ce simplement à cause des règles que tu dois suivre chez toi ou à l'école et des lois de la ville ou

ÉTHIQUE. Branche de la philosophie qui étudie les différences entre le bien et le mal, le bon et le nuisible, ce qui est moralement acceptable et inacceptable pour l'intérêt du public et l'ensemble de la société.

TECHNOLOGIES. Outils, équipements et méthodes que les scientifiques développent pour résoudre des problèmes et améliorer la vie des gens. Beaucoup peuvent aider ou au contraire nuire aux gens, et doivent donc être utilisées avec précaution et éthique.

VIRUS SYNTHÉTIQUES. Virus fabriqués en laboratoire conçus pour aider à traiter les maladies en ciblant et en détruisant les mauvaises cellules sans nuire aux bonnes.

du pays dans lequel tu vis ou y a-t-il plus que cela ? Est-ce à cause de de l'enseignement religieux que tu reçois, ou en observant comment les gens que tu respectes agissent et traitent les autres ? Peut-être fais-tu tes choix en fonction de ta conscience, cette petite voix intérieure qui te guide et t'aide à te sentir bien quand tu fais les bonnes choses et coupable quand tu vas à l'encontre de tes valeurs. Généralement, tous ces facteurs et bien d'autres se combinent pour former le sens du bien et du mal d'un individu.

L'**éthique** est comme un guide invisible qui nous aide à décider ce qui est juste et bon à faire. L'éthique nous aide à réfléchir à nos actions et à ce qu'elles pourraient faire ressentir aux autres. Par exemple, tu sais sûrement à quel point il est parfois difficile de dire la vérité, surtout si tu penses que tu pourrais t'attirer des ennuis. Mais au fond, si une petite voix te dit qu'il vaut mieux être honnête, c'est ton éthique qui parle ! De plus, si tu vois quelqu'un qui se sent exclu et si tu l'invites à jouer, ta voix éthique t'exhorte à être attentionné et prévenant. Le choix entre le bien et le mal peut sembler évident dans certaines situations, comme un vol ou le fait de frapper sans raison. Mais il y a aussi des moments où la ligne entre le bien et le mal est difficile à tracer. Dans ces situations moins évidentes, des « règles » éthiques peuvent aider à guider nos choix.

L'éthique est importante dans tous les aspects de notre vie, y compris le travail. Et l'éthique est particulièrement essentielle dans les emplois qui impliquent de nouvelles **technologies**, comme la recherche scientifique, qui peuvent avoir un impact direct sur les personnes, la société ou l'environnement.

DES TECHNOLOGIES PUISSANTES NÉCESSITENT UNE ÉTHIQUE FORTE

La science a un pouvoir incroyable pour faire des découvertes et des inventions qui peuvent améliorer la santé humaine, résoudre les problèmes environnementaux et, de manière générale, rendre nos vies plus faciles et plus agréables. Mais tout comme un marteau peut être utilisé pour faire la « bonne » chose (enfoncer un clou) ou la « mauvaise » (casser la fenêtre d'un voisin), de nombreux outils scientifiques mis au point avec les meilleures intentions peuvent être utilisés à mauvais escient s'ils tombent entre de mauvaises mains. C'est d'autant plus inquiétant qu'à mesure que la science progresse, les technologies deviennent plus faciles d'accès, plus puissantes et potentiellement dangereuses. Les scientifiques doivent mettre en place un code d'éthique rigoureux, qui guide leur travail et veille à ce que les nouvelles technologies soient utilisées pour aider les gens, et non pour leur nuire.

Les **virus synthétiques** sont un exemple de technologie en développement qui pourrait être utilisée pour aider ou pour nuire. Tu

GÈNES. Instructions à l'intérieur des cellules qui déterminent l'apparence d'un organisme et toutes ses fonctions.

peux considérer un virus comme une clé USB qui a besoin d'un ordinateur – une cellule – pour exécuter ses programmes, sauf que les virus ne peuvent se « brancher » que sur des types spécifiques de cellules. Des virus peuvent être conçus pour se connecter spécifiquement à des cellules cancéreuses et charger un « programme » (un **gène**) qui dit : « cellule cancéreuse, tu dois mourir ». Ces virus pourraient alors être injectés directement dans la tumeur, ou peut-être même dans la circulation sanguine, pour aider à guérir le patient. Ce serait pour les médecins un excellent outil qui pourrait aider de nombreux patients. Mais tout comme une clé USB peut fournir un programme utile ou un logiciel malveillant nuisible à un ordinateur, des virus synthétiques dangereux qui se propagent facilement (par voie aérienne ou par contact humain, par exemple) peuvent être créés. Ces virus pourraient causer des maladies ou contenir des gènes qui nuiraient ou même tueraient les gens.

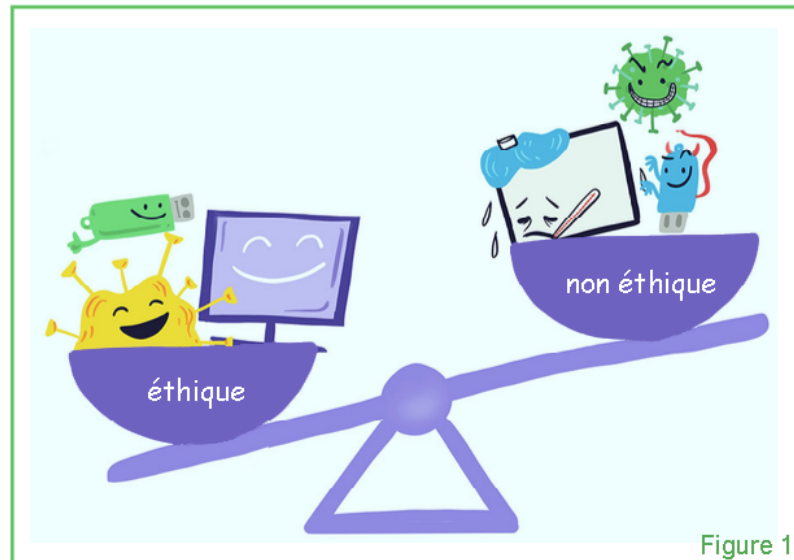


Figure 1. L'éthique scientifique agit comme la « conscience » de la science, pour s'assurer que les découvertes scientifiques sont utilisées pour aider les gens, et non pour leur nuire. Par exemple, tout comme une clé USB peut transporter un programme utile ou un logiciel malveillant dangereux, les virus synthétiques peuvent contenir des gènes bénéfiques pour lutter contre le cancer, par exemple, ou être utilisés pour blesser ou même tuer. Une éthique scientifique solide peut contribuer à faire pencher la balance en faveur d'une utilisation responsable et éthique de nouvelles technologies puissantes (Figure créée par carlottacat.com).

ÉTHIQUE SCIENTIFIQUE. Lignes directrices et valeurs qui aident les scientifiques à s'assurer que leur travail est honnête, sûr et utilisé pour aider, et non nuire aux personnes, aux animaux et à la planète.

L'**éthique scientifique** est l'ensemble des principes et des valeurs morales qui servent de conscience à la science, guidant le travail des scientifiques et aidant à s'assurer que des technologies scientifiques et médicales puissantes ne seront pas utilisées à de mauvaises fins (**Figure 1**). Ces principes éthiques sont souvent transformés en lois et en règlements qui aident à assurer la sécurité, l'exactitude et l'équité de l'utilisation des nouvelles technologies, et à garantir que les découvertes scientifiques seront utilisées d'une manière responsable qui protège les droits et le bien-être des humains, des animaux et de

l'environnement.

PRINCIPES DIRECTEURS POUR LES SCIENTIFIQUES

Les lignes directrices éthiques exactes que les scientifiques devraient suivre peuvent différer en fonction de nombreux facteurs, y compris le type de science (science médicale ou science végétale, par exemple) ou la culture locale. Mais il existe des lignes directrices communément acceptées que tous les scientifiques devraient suivre (Figure 2). En voici quelques-unes :

- **Respecter les droits de l'Homme** : les scientifiques doivent protéger le bien-être, la dignité et l'indépendance de toute personne impliquée dans leurs études de recherche. Ils doivent expliquer clairement les risques et les avantages d'une étude et s'assurer que tous les participants acceptent de participer à l'étude. C'est ce qu'on appelle le **consentement éclairé**, et cela garantit que les gens participent à une étude de leur propre choix et qu'ils ne subissent pas de pression pour y participer.
- **Utiliser les animaux de manière éthique**. Si des animaux doivent être utilisés pour la recherche, ils doivent être traités sans cruauté, en minimisant leur douleur et leur souffrance.
- **Signaler rapidement les dangers**. Si les chercheurs découvrent des risques pour la santé ou des préoccupations en matière de sécurité liés à un nouveau traitement ou à une nouvelle technologie, ils doivent les signaler immédiatement. La sécurité devrait être une préoccupation majeure, surtout si les études impliquent des groupes vulnérables comme des enfants, des prisonniers, des femmes enceintes ou d'autres populations à risque.
- **Considérer les répercussions générales**. Les scientifiques devraient réfléchir à la manière dont leurs travaux pourraient affecter la société et l'environnement, non seulement dans l'immédiat, mais aussi à plus long terme. Les scientifiques sont responsables s'ils minimisent les résultats négatifs potentiels de leurs recherches.
- **Être honnête**. Les scientifiques doivent être honnêtes dans tous les aspects de leur travail. Ils doivent notamment s'assurer que leurs résultats sont exacts et ne jamais inventer ou falsifier les données. Ils doivent clairement créditer les autres chercheurs pour leurs travaux et ne jamais les **plagier**. Enfin, ils doivent être conscients de tous les facteurs qui pourraient biaiser leur recherche, tels que leurs relations personnelles ou leurs sources de financement.

CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ.

Lorsque les gens choisissent librement de participer à une étude scientifique et en comprennent pleinement l'objectif, les risques et les avantages. Les scientifiques ont la responsabilité éthique de tout expliquer clairement.

PLAGIER. Copier le travail de quelqu'un d'autre et prétendre que c'est le vôtre. Le plagiat est mauvais parce qu'il vole les idées d'une autre personne.



Figure 2

Figure 2. Les principes éthiques qui guident le travail des scientifiques comprennent (de gauche à droite et de haut en bas) le respect des droits humains, le signalement rapide de tout danger, le traitement des animaux avec bienveillance, l'honnêteté et la prise en compte des impacts plus larges de leur travail (Figure créée par carlottacat.com).

ENFREINDRE LES RÈGLES

Tu te demandes peut-être s'il existe des exemples concrets de situations dans lesquelles des scientifiques ont ignoré les principes de l'éthique scientifique, ce qui a eu des conséquences négatives. Des exemples de conduite scientifique contraire à l'éthique existent sans aucun doute parce que les scientifiques sont des humains qui peuvent parfois faire de mauvais choix, tout comme le reste d'entre nous.

Un exemple célèbre est l'étude sur la syphilis qui s'est déroulée à Tuskegee aux États-Unis de 1932 à 1972 ([ici](#) pour en savoir plus). Dans cette expérience, des centaines d'hommes afro-américains atteints d'une maladie sexuellement transmissible appelée syphilis ont été délibérément laissés sans traitement par les chercheurs. Les chercheurs voulaient étudier la façon dont la syphilis affectait le corps. Un coup d'œil à notre liste montre clairement que cette étude était contraire à l'éthique à plusieurs niveaux. Les malades étaient généralement pauvres et ne savaient pas lire et n'ont pas pu, faute d'informations suffisantes de la part des médecins, donner leur consentement éclairé. On leur a également menti au sujet de leur état – on ne leur a pas dit qu'ils avaient la syphilis ou qu'elle était sexuellement transmissible – et on leur a donné de faux traitements, même après que la pénicilline, qui aurait pu les guérir, ait été disponible. Beaucoup d'hommes sont morts ou ont souffert de complications graves, comme la cécité, à cause de cette expérience.

Un exemple plus récent de conduite scientifique contraire à l'éthique s'est produit en 2018, lorsqu'un scientifique a annoncé qu'il avait modifié les gènes de deux sœurs jumelles avant leur naissance, à l'aide d'une nouvelle technologie puissante appelée CRISPR-Cas9 [1]. Le scientifique a déclaré qu'il voulait rendre les bébés résistants à l'infection par le VIH en désactivant le gène qui permet au VIH de pénétrer dans les cellules. Bien que cela puisse sembler être une bonne idée, de nombreux autres chercheurs et le public ont été choqués et inquiets pour l'avenir de ces enfants. Le scientifique avait falsifié d'importants documents nécessaires pour obtenir l'autorisation de réaliser cette expérience et l'a réalisée sans le soutien ou l'accord des autorités locales ou de la communauté scientifique. De nombreux chercheurs ont estimé qu'il n'avait pas pris en compte les effets potentiels à long terme que son expérience pourrait avoir sur les jumelles et leurs futurs enfants. Enfin, certains ont estimé que cette expérience n'était pas nécessaire parce qu'il existe d'autres moyens, moins risqués, de prévenir l'infection par le VIH sans modifier l'ADN humain. Même si les parents ont donné leur accord, ils n'étaient d'évidence pas suffisamment informés des risques potentiels pour leurs enfants.

VRAI OU FAUX ? C'EST COMPLIQUÉ !

Il est important de se rappeler que, dans certains cas, l'éthique scientifique est différente des règles d'un jeu. Ce qui est considéré comme bien ou mal peut différer d'une culture à l'autre et peut également changer au fil du temps, à mesure que les connaissances et les valeurs d'une société évoluent. À titre d'exemple extrême, lorsque l'étude de Tuskegee sur la syphilis a commencé, il n'y avait pas de lignes directrices officielles pour la recherche éthique sur les humains. Cela ne rend en aucun cas ces actions justes, mais il n'y avait pas à l'époque de règles formelles pour protéger les gens de telles expérimentations contraires à l'éthique.

La technologie est un facteur particulièrement puissant pouvant changer la notion du bien et du mal dans une société. Les nouvelles technologies peuvent nous donner des options que nous n'avions pas auparavant, ce qui fait que nos anciens choix semblent erronés ou contraires à l'éthique. Par exemple, les voitures à essence sont la norme depuis plus d'un siècle, malgré leurs effets néfastes sur l'environnement – nous n'avions tout simplement pas d'autres bonnes options de transport. Mais à mesure que les véhicules électriques continuent de s'améliorer, de plus en plus de gens peuvent commencer à penser qu'il est contraire à l'éthique de conduire des véhicules polluants à essence. Il en va de même pour la consommation de viande. À mesure que les viandes synthétiques deviendront moins chères et plus savoureuses, il pourrait arriver un jour où même les mangeurs de viande estimeront qu'il n'est plus

éthiquement acceptable de manger des animaux. Au fur et à mesure que les normes évoluent, de nombreuses générations futures jugeront le passé à travers leurs normes, critiquant et jugeant les gens pour des comportements passés qui, avec le recul, étaient clairement mauvais. Aujourd'hui, le nombre et la puissance des technologies mises à notre disposition augmentent plus rapidement que jamais, ce qui signifie que nos choix éthiques pourraient devoir s'y adapter. Peut-être y aura-t-il même un avenir dans lequel il semblera contraire à l'éthique de ne pas modifier les gènes de nos enfants à naître, pour les protéger contre le cancer ou d'autres maladies dont les gens souffrent couramment aujourd'hui !

EN CONCLUSION : LE POUVOIR DES CHOIX

La science est une force puissante, capable d'apporter des avancées incroyables qui profitent à l'humanité. L'éthique scientifique est le phare qui aide les scientifiques à naviguer dans la complexité de leur travail, en veillant à ce que les nouvelles technologies servent la société sans causer de tort ni violer les droits humains. Les lois et les règlements ainsi que, dans certains pays, des comités d'éthique donnent des avis aux scientifiques pour mener leur recherche de façon éthique. Mais la technologie progresse si rapidement que des expériences deviennent possibles alors que les lois et les codes de conduite n'en tiennent pas encore compte. Les scientifiques doivent donc avoir une éthique forte, individuellement et collectivement, et assumer la responsabilité personnelle de leurs activités de recherche.

Dans le cadre de la formation scientifique, l'ajout d'une formation à l'éthique est importante pour que les scientifiques comprennent les lignes directrices qu'ils sont censés suivre dans leur travail. L'avenir de la science dépend de la capacité des chercheurs à garder la confiance du public (pour en savoir plus sur la confiance dans la science, voir [ici](#)). Si les gens constatent que les scientifiques ont une éthique solide et mènent leurs recherches de manière responsable, honnête et respectueuse, il leur sera plus facile de faire confiance à la science, de la soutenir et de suivre les conseils qu'elle leur donne.

Au fur et à mesure que la science et la société évoluent, les nouvelles technologies continueront de nous proposer de nouveaux choix, et nos idées sur ce qui est acceptable ou non changeront également. La science nous donne des outils incroyables, mais c'est à nous de décider comment nous les utilisons. Si un esprit éthique guide la recherche, les nouvelles découvertes scientifiques pourront continuer à nous émerveiller, tout en protégeant les vies humaines et la santé de la planète.

REMERCIEMENTS

Article inspiré par les Sparks ! Forum sur la sérendipité au CERN (<https://sparks.cern>). Pour plus d'informations sur ce sujet particulier,

voir les conférences de Juan Enriquez et Andrew Hessel et le livre d'Enriquez [2].

RÉFÉRENCES

1. Adli, M. 2018. The CRISPR tool kit for genome editing and beyond. Nat. Commun. 9:1911. doi: 10.1038/s41467-018-04252-2
2. Enriquez, J. 2021. Right/Wrong - How Technology Transforms Our Ethics. ISBN 9780262542814.

VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par Frontiers for Young Minds (doi: 10.3389/frym.2023.1303154 ; Debad SJ and Enriquez J (2023) New Scientific Technologies: Navigating the Path of Right and Wrong. Front. Young Minds 11:1303154).

TRADUCTION : Jean-Marie Clément, Association Jeunes Francophones et la Science

ÉDITION : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

MENTORS SCIENTIFIQUES : Catherine Braun-Breton et Ula Hibner

JEUNES EXAMINATEURS :

Ces jeunes ont participé à l'édition d'articles dans le cadre du Club Sciences animé par deux enseignantes dynamiques, dévouées et inspirantes, Marina Tang et Cathy Dufour.

ANNABELLE, 11 ANS

Je m'appelle Annabelle et je suis en 6ème. J'ai adoré lire les articles, les explorer et les corriger. Faire ce travail avec mes copines a été passionnant.

CHLOÉ, 11 ANS

Je suis en classe de sixième au collège Ambrussum. J'adore lire, écrire, et le handball. J'ai trois chats ! Mes matières préférées sont la Musique et le Français. J'aime être au calme et réfléchir. J'adore le Club Sciences car on y lit et y apprend des choses très intéressantes.

LINA, 11 ANS

Bonjour, je m'appelle Lina et je suis en classe de sixième. J'ai plusieurs passions dans ma vie, comme le théâtre et l'écriture et j'aime bien les sciences. C'est pour ça que je participe au Club Sciences, une super activité le mardi à la pause de midi où j'ai pu découvrir de nouvelles choses. J'ai adoré la lecture critique d'articles.

LUCAS, 13 ANS

Bonjour, je m'appelle Lucas. En dehors des cours, j'aime apprendre l'anglais avec des jeux et des vidéos, et participer au Club Sciences.

J'ai bien aimé la relecture d'articles, surtout celui sur les organoïdes cérébraux ! La relecture d'articles me fait aussi progresser en français.

MATHILDE, 11 ANS

Je suis en classe de sixième au collège Ambrussum et fais partie du Club Sciences. Je trouve ce qu'on y fait passionnant et nous y apprenons beaucoup de choses, et aussi de nouveaux mots grâce à la lecture d'articles. J'ai une grande passion pour la pâtisserie !

ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

SOU MIS le 27 septembre 2023 ; **ACCEPTÉ** le 21 novembre 2023 ;
PUBLIÉ EN LIGNE le 08 décembre 2023.

ÉDITEUR : Claudia Marcelloni, European Organization for Nuclear Research (CERN), Switzerland

MENTORS SCIENTIFIQUES : Sezgin Ersoy and Marco Montemurro

CITATION : Debad SJ and Enriquez J (2023) New Scientific Technologies: Navigating the Path of Right and Wrong. Front. Young Minds 11:1303154. doi: 10.3389/frym.2023.1303154

DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT

SD était employée de de SJD Consulting LLC. JE était employé d'Excel Venture Management.

DROITS D'AUTEURS

Copyright© 2023 Debad et Enriquez.

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

JEUNES ÉVALUATEURS

ALESSANDRO, 12 ANS

Je m'appelle Alessandro et suis un élève italien de 12 ans. J'ai commencé à m'intéresser à la science quand j'étais petit. Je voulais devenir chercheur scientifique, alors mes parents m'ont acheté le « kit du petit scientifique ». C'est ainsi que j'ai fait ma première expérience. J'étais fier de moi. Ma passion n'a pas cessé et j'ai commencé à étudier pour poursuivre mon rêve.

ÇAĞAN, 11 ANS

Je m'appelle Çağan. Je suis en cinquième année. Certaines des choses que j'aime faire sont la lecture, le football et le basket-ball, les sciences, les langues anciennes et l'informatique. J'adore lire des romans d'aventures, en particulier la série de livres Harry Potter. J'ai

joué du piano pendant 4 ans, maintenant je m'intéresse à d'autres instruments. J'aime la nature, les plantes et les animaux.

ÇAĞLA, 9 ANS

Je m'appelle Çağla, Je suis en 3ème année. J'aime faire de la gymnastique, lire, peindre et écouter de la musique. J'aime les livres fantastiques et de science-fiction. J'ai fait de la danse classique pendant 3 ans. Je joue du piano. J'aime vraiment jouer à des jeux. J'aime la nature, les animaux et les plantes.

AUTEURS

SUSAN J. DEBAD

Susan est la rédactrice en chef de FYM depuis 2015, rendant toute notre science claire et intéressante, afin que personne ne pense que c'est « ennuyeux » ou « trop difficile ». Elle est titulaire d'un doctorat en immunologie virale (comment le système immunitaire nous protège contre les virus). Susan vit à l'extérieur de Washington, DC, et a un fils adolescent, deux oiseaux et quatre chiens. Elle accueille des beagles et les aide à se faire adopter, ce qui signifie qu'elle a parfois plus de quatre chiens ! Dans ses temps libres, elle aime lire, faire des mots croisés et être au grand air.
*susan@sjdconsultingllc.com

JUAN ENRIQUEZ

Juan s'intéresse à la façon dont les sciences de la vie et la recherche sur le cerveau peuvent changer les entreprises et la société. Il est titulaire d'un baccalauréat et d'un MBA de l'Université Harvard. Juan a été le directeur-fondateur du projet des sciences de la vie de la Harvard Business School et est chercheur affilié au laboratoire de neurobiologie synthétique du MIT. Il travaille maintenant pour Excel Venture Management, qui aide à créer des entreprises qui utilisent les technologies des sciences de la vie pour résoudre de grands problèmes dans le domaine de la santé et au-delà. Juan a donné 9 conférences TED (Technology, Entertainment and Design) sur une variété de sujets, et il est l'auteur de plusieurs livres, dont Right/Wrong: How Technology Transforms Our Ethics.
*jenriquez@excelv