



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

生态系统服务的货币评估

摘要

我们通过对未受影响的生态系统服务的价值以及潜在的土地利用发展将在多大程度上影响其建模，创建了一个生态系统服务评估模型，以了解土地使用项目的真实成本。我们通过考虑土地利用项目和特定位置的生态系统中的变量来实现这一目标。

为了衡量项目区域的生态友好程度，我们考虑了生物群落，与市中心的距离，降水，该地区的能源成本以及树冠覆盖范围。

我们将生态系统服务分为直接使用服务和间接使用服务。我们采用各种行之有效的估值方法，包括基于市场的估值，重置成本，避免的成本和收益转移。我们还利用两个数据集：生态系统经济学和生物多样性评估数据库（TEEB）和能源学会的数据库。

我们在六个案例研究中测试了我们的模型。对于每一个，我们找到受土地利用项目影响的生态系统服务的总货币成本。

项目	生态成本（美元）
埃及开罗的道路建设	\$219
美国华盛顿的住房	\$502
美国加利福尼亚的 Facebook MPK20 建设	\$19,110
澳大利亚霍巴特的道路建设	\$1.7 million
波多黎各的威尔德管道	\$642 million
尼加拉瓜运河工程	\$3.16 billion

最后，我们将模型投影为未来时间的函数，并通过更改初始参数来进行敏感性分析。我们的模型对于一个数量级内的合理扰动具有鲁棒性。



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

介绍

我们的任务是创建生态服务的评估模型，以量化由土地利用开发导致的环境经济成本。

我们的模型考虑了一个潜在的项目，考虑了项目位置的许多方面，并返回了一个货币价值，该价值被估计为生态服务的价值。该模型的目的是帮助人们以货币形式理解土地利用项目的生态成本。

创建此模型时面临的主要挑战是将货币值分配给本质上不具有该值的服务。为了克服这个困难，我们利用多种已建立的方法并将它们综合为一个模型。

我们对不同地点的不同规模的土地利用开发项目进行建模。为了评估模型的有效性和含义，我们进行了敏感性分析，并将模型投影到未来。

定义

• 生态（或生态系统）服务是由生态系统提供的任何可能对人类有益的服务。生态服务可以分为使用（人类可以直接或间接使用的）和不使用（人类无法使用的）。不使用的生态服务经常引起争议，因为对没有价值的产品定价是有争议的。我们将不使用的生态服务视为“子服务” [Ecosystem Services Partnership 2019;van der Ploeg and de Groot 2010].

我们考虑的生态服务包括

- 碳汇，
- 水过滤，
- 防洪，
- 防腐蚀，
- 娱乐，
- 生物多样性保护
- 防火，
- 木材，
- 薪柴和木炭，
- 生态旅游
- 小气候调节
- 生化剂
- 自然灌溉
- 植物和蔬菜食品
- 水电
- 营养物质的沉积，
- 气体调节
- 土壤形成
- 文化用途
- 排水，以及



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

一 科学/研究。

- 给定服务的估值是分配给它的货币价值。由于一项服务的价值必须大于或等于消费者购买该服务的价格，因此对生态服务的任何货币估计都将低估该服务的真实价值。

- 直接使用服务是由生态系统产生的，可直接惠及人类的可测量服务，例如地下水补给。

- 间接使用服务是指不会直接造福人类，但会增加直接使用服务的惠益的服务，例如生物多样性。衡量此类服务的难度通常会导致计算其需求方评估，即服务为人类提供的价值。我们将这些值用作“生态系统和生物多样性经济学（TEEB）数据库”[Ecosystem Services Partnership 2019; Van der Ploeg and de Groot [2010]，来自许多生态系统评估研究的生态系统服务价值数据库。所使用的价值是根据三种公认的生态系统评估方法计算得出的：利益转移，直接市场定价和重置成本技术。

- 生物群落是占据栖息地的自然动植物群，可以大致分为陆地和海洋[Kendeigh 1961]。我们只考虑地面。

我们考虑的生物群落类型为：

- 热带森林
- 内陆湿地，
- 沿海湿地
- 耕地
- 林地，
- 沙漠
- 森林，以及
- 草原。

假设条件

- 可获得干净的水，未受污染的水源彼此之间相差无几。由于可以用管道输送或用卡车运水，因此我们认为水是可以到达的。在我们的模型中，我们考虑到清洁水的距离。

- 同一生态系统类别中的区域具有同等的生产力。即使在相同分类的生态系统中，也可能存在多种多样的变化。我们假设每个生物群落在整个过程中都是相对统一的，因此按生物群落分组足以区分项目。

- 任何影响都是线性的。面积的增加线性影响用于计算生态成本货币表示的因素。例如，如果一棵树整合 N 千克的 CO_2 ，则两棵树整合 $2N$ 千克的 CO_2 。

- 能源成本准确地反映了生态服务的价值，并准确地换算了具有不同能源成本的不同地区中这些服务的成本。通过计算生态服务的近似能量并使用该地区的能源成本，我们将一些生态成本转化为货币价值。我们假设可以估计一个转换因子。

- 到市区的距离与生态系统服务的价值之间存在非线性反比例关系[Trisos 2015; Zari 2018]。因此，我们假设城市化与生态系统服务之间存在联系。这意味着获得清洁水，生物多样性和其他类似服务的机会会受到城市邻近地区的影响。

模型

模型变量

- 根据服务的不同，我们使用不同的方法来评估各种生态服务的货币成本。我们使用以下方程式进行碳固存以及水的过滤和纯化。如果我们无法估计服务的直接成本，则使用 TEEB 数据库中的成本[Ecosystem Services Partnership 2019]。



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

$$\text{cost}(D, S_i, P_{\text{urban}}, E) = \left(D + \sum_i S_i \right) (1 + P_{\text{urban}})(1 - E),$$

D 是项目直接使用因素的货币价值，

- S_i 是第 i 个服务，
- P 市区是项目与城市环境的接近程度的指标，并且
- E 是项目的环保指数。

为避免重复计算，我们从 TEEB 数据集中丢弃了任何与碳固存，水净化，水过滤有关的值，以及与水或二氧化碳净化有关的任何歧义。

城市邻近指数和生态友好指数均介于 0 到 1 之间，并且是影响最终成本的加权因子。

• 城市邻近度指数：值 0 对应于非常接近城市环境的位置，定义为 5 km 或更小。值 1 对应于距城市环境至少 50 公里的乡村位置。市区已经有灌溉服务和其他公用事业。在农村环境中，需要将景观进一步撕裂以获取必要的资源，从而导致对土地提供的生态系统服务造成更大的破坏。我们使用对数标度，因为先前的文献表明这种关系是非线性的 [Zari 2018]。

• 环保指数：值为 0 表示一家公司不致力于减少其碳足迹或使用其他环保做法。值 1 对应于一家能够“生存”在生态系统中而不会损害任何服务的公司。例如，美国加利福尼亚的苹果公园将是一个相对较高的环保指数，因为它是世界上最大的自然通风建筑，校园周围种植了 7,000 棵树，并为校园提供了 100% 可再生能源 [Miller 2018]。对于我们的六个案例研究，我们估计一个索引值。实际上，在开始建设项目之前，公司可以使用资源来确定相对生态友好度，例如 2017 年绿色商业状况指数 [Makover 等。2018]。

进一步的方程式

• 直接使用服务的总成本对于生态特征的使用，我们使用时间模型为一年的汇总模型 [Yang 等。2018]。

$$D(C, W) = C + W.$$

我们将碳固存所用能源的货币成本 C 和过滤水所用能源的货币成本 W 相加；这是直接使用服务的总费用。

• 碳固存能量通过将每磅 CO_2 固碳的能量 E_{CO_2} 乘以转换因子 E_T ，然后乘以转换系数 E_T ，从而计算出每平方米树冠覆盖层固碳的能量 E_C 光合作用的能量效率 p 。

$$E_C = E_{\text{CO}_2} E_T p.$$



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

Table 1.

Symbols, definitions, and constants.

Symbol	Definition
$D(C, W)$	Monetary value (USD) of direct use services from an ecological area using energy calculations.
$C(A, F_{\%}, E_{\$})$	Monetary value (USD) of carbon taken out of the atmosphere by plants
$W(P_w, A, E_{\$})$	Monetary value (USD) of water filtered by the soil
S	List of ecosystem services in the TEEB dataset.
P_{urban}	Index of urban proximity (0–1), with 0 being near an urban area and 1 being in a rural/remote area
E	Eco-friendly index
A	Area of the land-use project (m^2).
$F_{\%}$	Canopy Percentage: Percentage of foliage coverage of 1 m^2 of land (%).
$E_{\$}$	Monetary value of energy varying depending on location (USD/Joule).
u	Urban proximity (m).
P_w	Precipitation (mm/yr)
b	Biome, with data from TEEB Database [Ecosystem Services Partnership 2019]
Constant	Value
E_C	Energy of carbon per square meter of canopy cover ($117 \text{ J}/\text{m}^2$).
p	Energy efficiency of photosynthesis: 26% [Lambers and Bassham 2018].
t	Time (yr).
E_{CO_2}	Energy of CO_2 : $5.045 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{lb CO}_2}$ [Evans n.d.]
E_T	Energy of CO_2 per square meter: $48 \frac{\text{lbs CO}_2}{\text{m}^2}$ [Lambers and Bassham 2018]
E_m	Solar transformity: amount of energy required to produce 1 g of clean groundwater from soil due to rainfall: $22.83 \frac{\text{J}}{\text{g}}$ [Yang et al. 2018]
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	Density of water: $997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

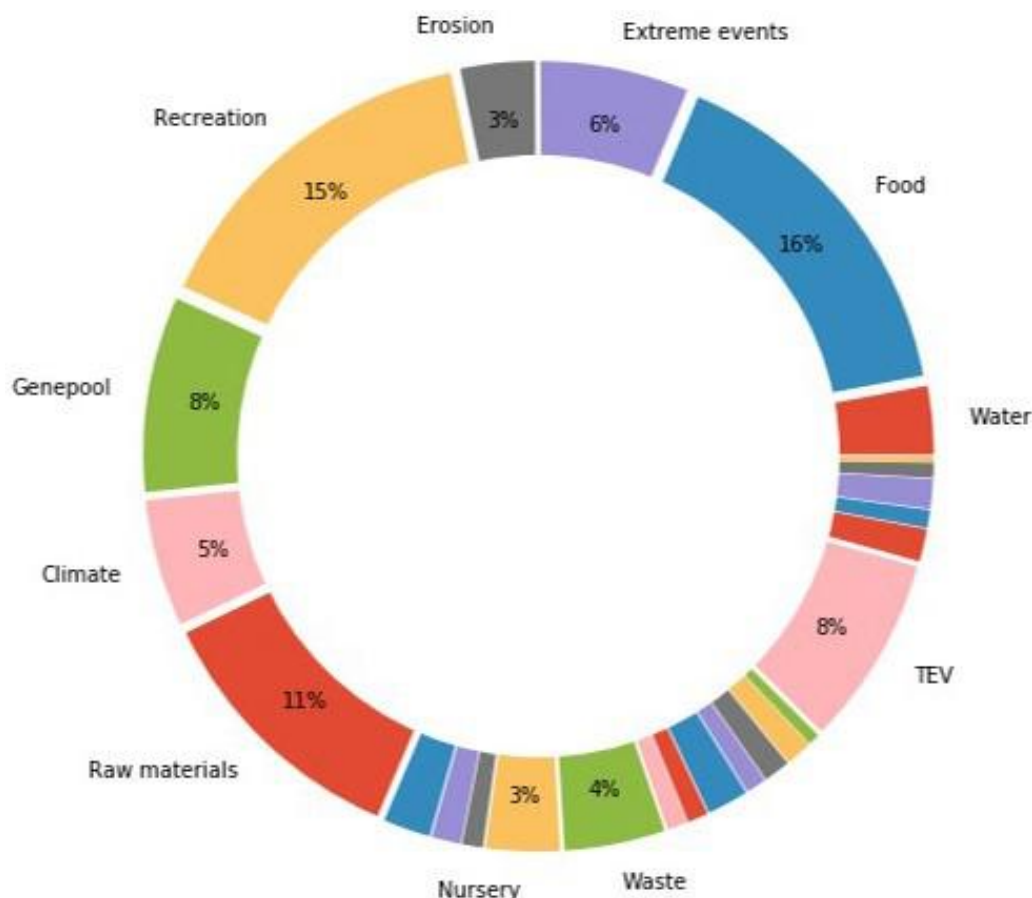


图 1. 按生态系统服务分类的资源。占资源不到 3% 的服务未显示在图表中，而是包含在分析中。

- 固碳成本固碳成本 C 是通过将总面积 A 乘以冠层覆盖率 $F\%$ ，然后乘以每平方米冠层覆盖所使用的能量 E_C 来计算的。我们使用土地使用项目所在地的能源成本 $E_{\$}$ 转换为美元。

$$C = E_{\$} E_C F\% A.$$

- 滤水成本我们将每平方米降水量 P_w 乘以土地利用项目的面积 A ，得出该地区的总降水量。

然后，我们乘以水的密度 ρ_{H_2O} ，将体积转换为质量，

然后乘以太阳变换 E_m 得出总数

清洁水所需的能量。我们使用土地使用项目所在地的能源成本 $E_{\$}$ 转换为美元。

$$W = P_w A \rho_{H_2O} E_m E_{\$}.$$

- 城市邻近指数我们使用对数刻度作为指数 P 市区城市多样性之间存在非线性关系

和生态系统服务 [Trisos 2015]:

$$P_{urban} = \log_{10} \left(\frac{x}{5} \right), \quad 5 \leq x \leq 50.$$

实例探究



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

通过测试案例研究，我们可以确认我们模型的结果是合乎逻辑的，并且规模。我们按面积顺序（从最小到最大）列出了案例研究。

我们估计仅一年的环境服务成本。高度相关的是它们在项目生命周期中的总使用适当的折现率作为未来成本。我们不尝试估计这些项目的寿命。

在美国华盛顿州西雅图市住房

[2011 年戴维资源小组; 2016 年 Trimbath; 选择能源 2019; 罗森伯格 [2016 年]

通常很难衡量单个住房对生态系统服务的影响。在大多数情况下，住房是作为破坏生态系统大片区域的大型项目的一部分而建造的，但是在本案例研究中，我们为华盛顿州农村的理论性住房项目建模。

不考虑环境服务的项目成本:	每年 30 万美元的环
境服务成本:	\$ 502
第一年后的合并成本:	\$300, 502
增幅:	0.14%

该项目距离城市环境的距离很远，并且位于高树冠覆盖的生物群落中，这些因素预计会对该项目的成本产生很大的影响。然而，与总成本相比，它的体积小和环保指数导致对环境系统的成本非常低。受损的生态系统服务在项目考虑中不会很重要。

美国美国门洛帕克的 Facebook MPK Building 20

[门洛帕克市; 电力本地 2019; Graeber 2018; Meyers 2016] 大型公司正在不断地建立或改建总部，以适应其显著的增长。Facebook 的 MPK 大楼 20 个扩展项目就是这样一个很好的例子。

绝大多数大型公司总部位于城市地区，这些地区的本地生态系统服务已经遭到破坏；

因此，即使考虑大规模的此类项目，其环境破坏也相对有限。生态系统服务成本可能不会影响项目的发展。

不考虑环境服务的项目成本:	每年 2.69 亿美元
的环境服务成本:	第一年后的总
费用为\$ 19,110:	2.69 亿美元增长
百分比:	0.007%

道路建设在澳大利亚塔斯马尼亚州霍巴特

[澳大利亚生物群落; 澳大利亚政府 2018 年; C. 2001; CityGreen Australasia nd]

与澳大利亚绝大多数地区不同，塔斯马尼亚的生物群落被归类为雨林，独特的动植物受到城市发展的威胁。澳大利亚的公路项目平均成本很高，在澳大利亚如此多样化的地区，生态系统服务的价值可能会大大增加项目成本。

不考虑环境服务的项目成本: \$73 每年一百万的环境服务成本: \$ 170 万

第一年后的合并成本: 7470 万美元，增长百分比: 2.3%

在这个土地利用项目中，生态系统服务的成本将是可观的，因为道路会影响到一个多样而丰富的生态系统。由于该项目的建造距离城市中心相对较远，因此它将对原始自



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

然环境产生影响，对生态系统服务具有很高的价值。

埃及开罗的道路建设

[穆罕默德 2018 年; Mongabay 2018]

开罗是一个经济和文化中心，也以其糟糕的客流量而闻名。埃及的道路项目成本相对于世界其他地区便宜，埃及的沙漠环境表明，这类项目的建设成本和可能对生态系统服务的损害通常都应该便宜。

考虑到该项目是在沙漠中建造的，对生态系统服务的损害将很小，因为沙漠环境并不提供许多生态系统服务。

受施工影响的最重要的服务将是直接使用水的补给；但是由于埃及的降水量非常少，因此这种生态系统服务一开始并没有多大用处。

不考虑环境服务的项目成本：每年 2100 万美元的环境服务成本：第一年后的总费用为 218 美元：2100 万美元，增长百分比：0.000%

波多黎各拟建的 V'ia Verde 管道

[数据盆地 nd; Marcano-Vega 2017; 佛蒙特法学院 2012]

维纳佛得角管道项目于 2009 年被提议为具有里程碑意义的能源项目，以满足波多黎各的能源需求。由于计划路线将覆盖波多黎各大约 7 平方公里的原始雨林，因此该项目引起争议，因此该项目从未完成。由于这可能会使许多当地社区和濒危物种面临风险，因此货币生态成本将是巨大的。

不考虑环境服务的项目成本：	每年 8 亿美元的环
境服务成本：	6.42 亿美元
第一年后的合并成本：	14.42 亿美元百分比
增长：	44.5%

V'ia Verde 管道将严重破坏生态系统提供的大量生态系统服务，以至于该项目可能不值得其成本。

拟议的尼加拉瓜运河项目

[Franery 2014; Hochleitner 2015]

尼加拉瓜政府已经提出了一个庞大的项目，以建造一条新的运河来连接太平洋和大西洋。该提议被证明不受欢迎，因为该运河将穿越尼加拉瓜雨林茂密的林区，并对生态系统造成巨大破坏。

不考虑环境服务的项目成本：	\$45 每年十亿的
环境服务成本：	31.6 亿美元
第一年后的合并成本：	481.6 亿美元增长百
分比：	6.6%

由于该项目的规模，尼加拉瓜运河项目将严重影响环境。在决定建造环境服务时，应考虑环境服务的成本。

结论

该项目的一个重要目标是创建一种土地生态系统评估模型，该模型可以在全球范围内应用于一系列具有不同影响率的多个不同项目。为了实现这一目标，我们开发了可以



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

针对任何环境和位置进行计算的碳固存和排水模型。TEEB 数据库为我们的模型处同生物群落提供了标准化的数据集。

通过使用大小，成本和位置不同的案例研究，我们确定我们的模型可以正确服务的货币成本。

未来的预测

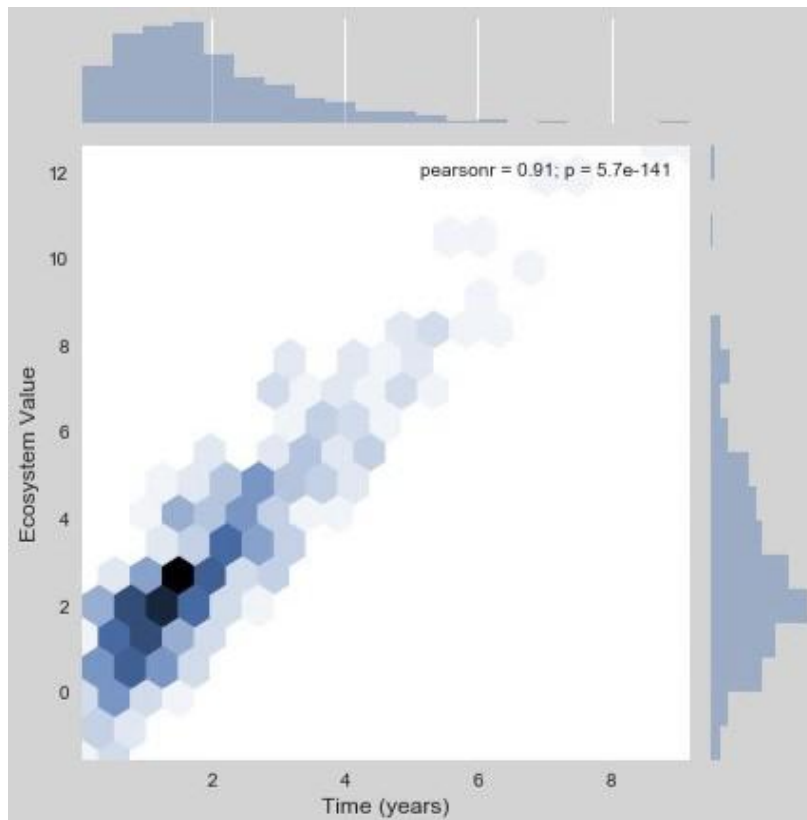


图 2. 生态系统服务估值随时间的变化。

通过执行简单的随机扰动，我们将模型投影到未来。我们执行内核密度估计，该估计与我们在初始构造之后的时间 t 上确定模型是否准确有关。图 2 中较浅的阴影表示随着时间的流逝，确定性降低，因为对初始条件的敏感性会随着时间的增加而增加。

敏感性分析

我们通过改变模型中参数的值来执行敏感性分析。我们将生态友好度和城市邻近度指数的变化范围从 -0.1 到 0.1。我们还使用有界随机值来更改 TEEB 数据库中生态系统服务的其他参数，以及固碳参数和水过滤参数。在所有六个案例研究中，我们模型的预计成本与基准值仅相差一个数量级，这表明存在一定的稳定性。

长处和短处

长处

- 多个输入可对所选位置的生态价值进行准确评估。
- 该模型集成了多种评估方法，弥合了供应价值模型和需求价值模型之间的差距。

弱点



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。

- 我们没有包括所有可能影响生态系统货币价值的生态因素。
- 我们假设按生物群落分组足以区分项目。尽管每个生物群落内部都有可能地利用项目的生态影响的差异，但我们没有考虑这些差异。
- 我们引用的环境成本仅为一年，而不是整个项目的生命周期。

参考文献

- 澳大利亚生物群落。nd
<https://mainweb-v.musc.edu/cando/ausdwnun/biom.html>.
澳大利亚政府。2018。
道路建设成本和基础设施采购基准测试：2017年更新。
<https://bitre.gov.au/publications/2018/files/rr148.pdf>.
C., Alix. 2001. 澳大利亚大草原生物群系。
http://www.blueplanetbiomes.org/australian_savanna.htm.
选择能源。2019. 各州电费。
<https://www.选择能量.com / electric-费率州/>.
- 门洛公园市。nd Facebook 校园扩张。
<https://www.menlopark.org/995/Facebook-Campus-Expansion>.
CityGreen 大洋洲。nd 澳大利亚第一个城市树冠覆盖基准。
<https://citygreen.com/blog/first-urban-treecanopy-cover-benchmark-in-australia/>.
数据盆地。nd National Land Cover Database [2001], 树冠覆盖率-波多黎各。
<https://databasin.org/datasets/ae0acddccbc548df9396d48078ddfd64>.
戴维资源集团。2011年。华盛顿州邦尼湖市：城市树冠评估。
http://file.dnr.wa.gov/publications/rp_urban_bonneyLake_ca.pdf.
生态系统服务伙伴关系。2019. 生态系统服务估值数据库。<https://www.es-合伙.org/services/data-知识共享/生态系统服务评估数据库/>
电力本地。2019. 门洛帕克电费。<https://www.electricitylocal.com/states/california/menlo-park/>.
埃文斯 (Evans) nd 树的事实。网站。<https://projects.ncsu.edu/project/treesofstrength/treefact.htm>.
法兰绒 纳撒尼尔 (Nathaniel Parish)。2014。尼加拉瓜运河大型项目面临延误和反对。<https://www.福布斯.com/sites/nathanielparishflannery / 2014/01/07 / nicaraguan-canal-mega-project-faces-delaysand-opposition / #5a909f115041>.
凯尔西·格伯 2018年。在 Facebook 的 West Campus 中，建设项目的收入达到\$10B。
<https://www.建立缩放.com/blog/facebook-西方-校园1b>.
霍克利特纳，安娜。2015年。尼加拉瓜的国际运河间运河：全国因地制宜罪状。<https://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/12056.pdf>.
肯迪·S·查尔斯。1961年。动物生态学。<https://www.生物多样性图书馆.org/bibliography/7351#/摘要>.
Lambers, Hans 和 James Alan Bassham。2018. 光合作用。<https://www.大不列颠.com / science / 光合作用/能源-光合作用效率>.
Makover, Joel 等。2018. 2018 绿色企业状况。<http://info.greenbiz.com/rs/211-NJY-165/images/StateofGreenBusinessReport2018.pdf>.
Marcano-Vega, Humfredo. 2017年。波多黎各森林，2014年。资源更新 FS - 121。



关于作者



扫一扫上面的二维码图案，加我为朋友。



Esteban Ramos, Ishan Saran 和 Emily Rexer, 以及团队顾问 Lars Ruthotto。