



River © 2010 Richard Hamilton Smith, solar panels/turbine © 2019 iStockphoto LP

连通与流淌

——再生能源革命，让河流自由流淌

一个让河流、气候和人类
可持续的未来



STIMSON



POSITION FSC
LOGO HERE

概要

由于可再生能源革命，电力系统现在可以实现低碳，低成本，和对河流、环境和人类的低影响

当今世界面临着多重相互交织的关键挑战：扩大发电量以满足不断增长的经济、满足目前十亿无法接入电力系统的人的供电需求，同时到 2050 年将温室气体排放量降至接近零，此外在保证上述所有目标的同时，还要保持世界生态系统的完整性，包括保护地球上剩余的自由流淌的河流。

今天，我们有一个很好的机会来解决这些挑战，这个机会就是可再生能源。其最具代表性的有：风能和太阳能发电和存储技术成本的大幅降低；能源效率、需求侧管理和电网管理上取得的重大提升。此外，政府更加容易获取相关工具进行电力系统战略规划。战略规划可以让项目的扩展和运营最大限度地发挥协同作用并最大限度地减少负面影响。

我们现在可以设想一个这样的未来：电力系统可以通过利用不同的可持续可再生能源技术，包括太阳能、风能、可储存和低影响水能，变得易获取，更低廉并同时助力经济发展。我们有了多种可持续替代方案来替代在世界各地自由流淌的河流上规划的高影响水电大坝，而这些高影响水电大坝可引发一系列的负面影响，包括社区居民流失、淡水渔业的损失，以及截留沉积物等。这些沉积物对下游面临海平面上升的经济重地三角洲非常重要。

本报告描述了我们如何快速发展电力系统，帮助世界应对这些相互交织的挑战，同时支持全球实现可持续发展目标 (SDGs) 和“巴黎协定”下的目标。这样的电力系统要符合以下原则：

1. 低碳

随着时间的推移，使能源系统和整体经济脱碳的必要性日益明显。稳定的气候 - 繁荣的社会和健康的生态系统 - 要求电力系统迅速发展成低碳和高效的模式，并且电气化一些行业，如供暖和运输。

2. 低成本

低碳和低影响的电力系统还必须通过可靠且合理的价格，以满足各国的电力需求。此外，能源投资要确保目前无法接入电力系统的十亿人获得可靠的供电途径，以达到社会的公平。事实上，新可再生能源的建设周期短，灵活多样性和低成本使各国能够加速电力的获得。

3. 低影响

几乎所有生产能源的选项都会对社区和环境产生一些负面影响，但是，低影响系统的选择变得越来越可行，并且可以应用各种最佳实践来进一步减少影响，特别是对世界上剩余的自由流淌河流的影响。

仅通过预先判断应该部署何种技术和使用何种能源生产组合，并不会实现我们的愿景。未来电力系统的决策应分辨出符合上述原则的选项。任何能够满足这些原则（低成本、低碳和低影响）的资源组合都将使人类、自然和气候受益。

在实践中，我们认为符合这些原则的电力系统将越来越多地避免与高影响水电项目相关的重大牺牲。然而，避免这些牺牲和影响并不等于水电开发的终结，而是意味着其角色和特定竞争力市场的重大转变。水电项目提供一系列服务，通过改变现有项目的运行和更加战略地设计新项目例如使用河道外抽水蓄能发电等，可以帮助平衡电力系统，促进电力系统吸收更高比例的风能和太阳能发电，同时也避免了过去项目带来的重大牺牲。这些精心规划的项目将投资者和开发商提供更低的风险及更高的价值，同时为国家和社区提供更高的整体价值。

迫切需要扩大能源的可获得性同时，脱碳电力系统为了避免全球气温上升大于 1.5°C，政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 的报告中指出，到 2030 年，世界将需要将全球的二氧化碳排放量减少到约 40-50%，到 2050 年，我们需要成为“无碳”经济。由于发电是温室气体排放的主要来源，电力系统的脱碳对于实现必要的减排至关重要，特别是因为必须增加发电量才能为世界上那 10 亿人提供电力。这将需要从化石燃料（煤、天然

气和石油）快速转型到低碳可再生能源，如风能、太阳能、地热能和水力发电。虽然到目前为止，水电已成为可再生能源发电的主要来源，但通过预测世界如何满足未来的电力需求同时实现气候目标，包括大幅增加风能和太阳能的比例，我们预计这些资源的使用比例将达或超过目前的水力发电。

要点

- 近年来，风能、太阳能和电池存储成本急剧下降，并且还在继续下降，可再生能源占 2018 年新增全球发电量的三分之二，以风能和太阳能为主导。
- 效用规模，低影响风能和太阳能的全球技术潜力是各国根据“巴黎协定”承诺的可再生能源目标的 17 倍，并且分布均匀。这应允许几乎所有国家实现低碳，低成本和对社会和环境资源的低影响的电力系统。
- 由于近年对风能和太阳能的更多投资，新建水电大坝的总数正在减少，因此可以降低对河流的负面影响，并避免在全球范围内破坏数十至数百万公里的自由流动河流，具体取决于河流流域的发展情况。
- 整合电力发展模型与景观模型来指导项目选址可以帮助决策者设计低碳、低成本和低影响的系统。
- 可再生能源革命并不意味着水电开发的终结，而是意味着其角色的重大转变。某些类型的水电正在变得竞争力下降，可靠替代品的增加应该减少对高影响水坝的需求。然而，提供存储能力和灵活性的低影响水电站可成为世界向更多间歇性可再生能源部署过渡的重要组成部分。
- 通过利用经济手段和金融趋势以及更先进的技术，我们可以利用低碳、低成本和对河流及其生态系统的低影响的电力系统，为人类和自然打造一个更光明的未来。

可再生能源革命正在迅速改变电力系统格局

在过去十年中，一系列可再生能源的成本急剧下降，太阳能和风能的成本现在接近 0.06 美元 / 千瓦时 - 相当于化石燃料成本范围的低端和水力发电的平均成本，而且这一成本预计还会进一步下降。

由于近年来相对成本的这些快速变化，投资推动了新的太阳能和风能发电总量 (见图 1)。自 2013 年以来，水电的发电量一直在降低，这不仅是因为与之竞争的其他新能源技术成本下降，而且还因为水电面临其他诸多挑战，包括大幅的取消计划，不断增加的水文风险，成本超支和进度延迟，技术挑战，和日益增长的社会抗拒。

随着其他可靠技术选择的增加，某些类型的水电正在变得越来越不具竞争力，从而高影响水坝的需求也相应降低。然而，具备储能能力和灵活性的低影响水电站，在确保电网稳定性，为其他的供电来源，如太阳能和风能，提供调节服务等方面，发挥着重要作用，低影响水电仍然是

世界向更多间歇性可再生能源转型的重要组成部分。

可再生能源革命可以通过提供低成本、低碳、低影响的电网来增加对自由流动河流的保护。

对于为同时满足 2050 年的电力需求和实现气候目标需要开发的水电量的各种预测差别很大，例如，基于目前大约 1,200 GW 的装机容量，为实现 PCC 的情景即将全球温度上升限制在 1.5°C 以下，在 2050 年全球水电装机容量需要达到 1,820 GW，这一水平意味着另有 190,000 公里的河道将受到碎裂化的影响，其中 70% 以上的影响将会发生在产量最高、鱼类物种最丰富的流域。

然而，根据与其他可再生能源技术在成本及投资水平上的比较，以及改造现有水坝和改良梯级水电站运行的可能性，未来的水电开发量可能并没有这么高。其他较低的 2050 年水电发展预测，例如 Teske 所建议的 2050 年水电目标 (1,523 GW)，也显示了这种可能性。这样的低开发水平可以减少对 65,000 公里河道的影响，通过更好的空间规划，我们可以再进一步减少对 10 万公里河道的影响 - 总体而言，河流破碎化的影响可以减少近 90% (图 2)。这样一来，河流的健康得到保障，健康的河流可以持续为人类和自然提供的多样化利益。

使用风能和太阳能替代水电开发的能力取决于这些技术竞争力的提高，以及电网消纳这些高波动性高间歇性新能源的能力，请参见下面的案例分析，但是，为确保这些电力系统替代方案尽可能的实现低影响，我们需要在对社会和环境资源影响较小的地区利用范围广且易获得的风能和太阳能，全球规模化风能和太阳能的技术可开发量 (在已开发用地上例如农业用地、退化土地、和屋顶) 是这些国家在巴黎协定下做出的承诺的 17 倍，而且这些技术可开发量的分布十分有利 (图 3)。这应允许几乎所有国家实现低碳、低成本和低影响的电力系统。

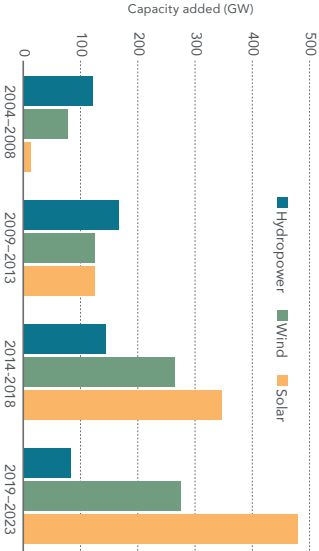


图 1.
不同类型的可再生能源近年增长量

全球可再生能源增加量，2004-2023 (来自 ICA 2017)。²

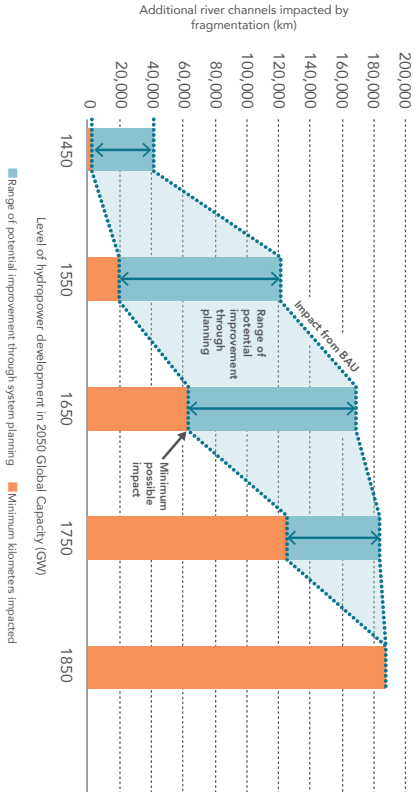
低碳、低成本和低影响电网的案例研究最近的一些研究表明，低碳发展的电网的经济和技术可行性主要依靠可再生能源。我们通过整合智利和乌干达两个国家的电力发展模型，以及河流环境价值的基本观测模型，进一步探索了低成本、低碳电网对河流产生低影响的可能性。

在乌干达，我们对比了低碳情景和参照 (或按照目前发展运营模式) 情景。在低碳情景中，我们将目前参照情景中位于国家公园中的两个水电站替换为太阳能光伏发电和储能系统，取消水电站后的方案与参照情景相比对于电力系统的成本没有影响。在智利，参照情景包括继续扩大煤炭和水电规模，而低碳情景避免了在智利剩余的自由流动的河流上开发新的水坝，其成本仅比参照情景高出 1.5-2%，而碳强度仅是参考情景的四分之一 (25%)。

这些例子说明了整合电力发展模型与景观模型来指导项目选址可以如何降低电力系统中水电的负面影响。一系列其他最佳实践可用于进一步最小化水力发电的影响，包括修复和改造现有的水电大坝、改良水坝和梯级电站的运行，以及为非发电型水坝增加涡轮机。总体而言，将缓解等级纳入新的可再生能源项目的区域规划可以减少影响和冲突，有助于资源保护和促进发展。

图 2 水电的发展与对河流的影响

使用其他能源技术替代水电可以为全球河流保护带来的可能改善情况（从右向左移动）和通过系统规划优化流域内的发电和环境绩效可以带来的改善情况（任何给定发展水平内的蓝色阴影区域）。图中蓝色加橙色的综合柱状图的顶部代表了按照目前发展形式到 2050 年，在相应水电装机容量的前提下对河流破碎化的影响，红色条形顶部代表了该发展水平可能实现的最小影响（From Opperman et al. 2015 based on dam database from Zartí et al. 2015）。



i. Note that the bar for 1,850 GW is depicted as having no range of potential improvement from system planning, but that is because that level of development requires building all the dams in the database and thus we can't model different configurations

专栏 1

湄公河流域的可持续电力系统

湄公河支持着世界上生产力最高的淡水渔业，并提供维持湄公河三角洲物理完整性和生产性生态系统的必须泥沙，这是越南经济和区域粮食安全的重要组成部分，也是 2100 万人的家园。

水电一直是湄公河流域国家的主要电力来源，但研究表明，目前不合理的水电开发继续延绵的话将导致洄游鱼类生物量减少近一半。受到泥沙被水坝拦截，以及其他压力的影响，到本世纪末，三角洲可能超过一半面积将位于水下。

最近的研究表明，该区域可以开发远低于现有预测水平的水电，而仍然满足未来的电力需求。将电力发展模式与指导低影响水电选址的模型相结合，提供了强有力的证据，证明湄公河地区可

以开发低碳、低成本的电力系统，不需要开发干流和少数剩余的由支流的主要支流上的水电站 - 任何新的水电站可以通过选址，将每度电对渔业和泥沙产生的影响降到最低。

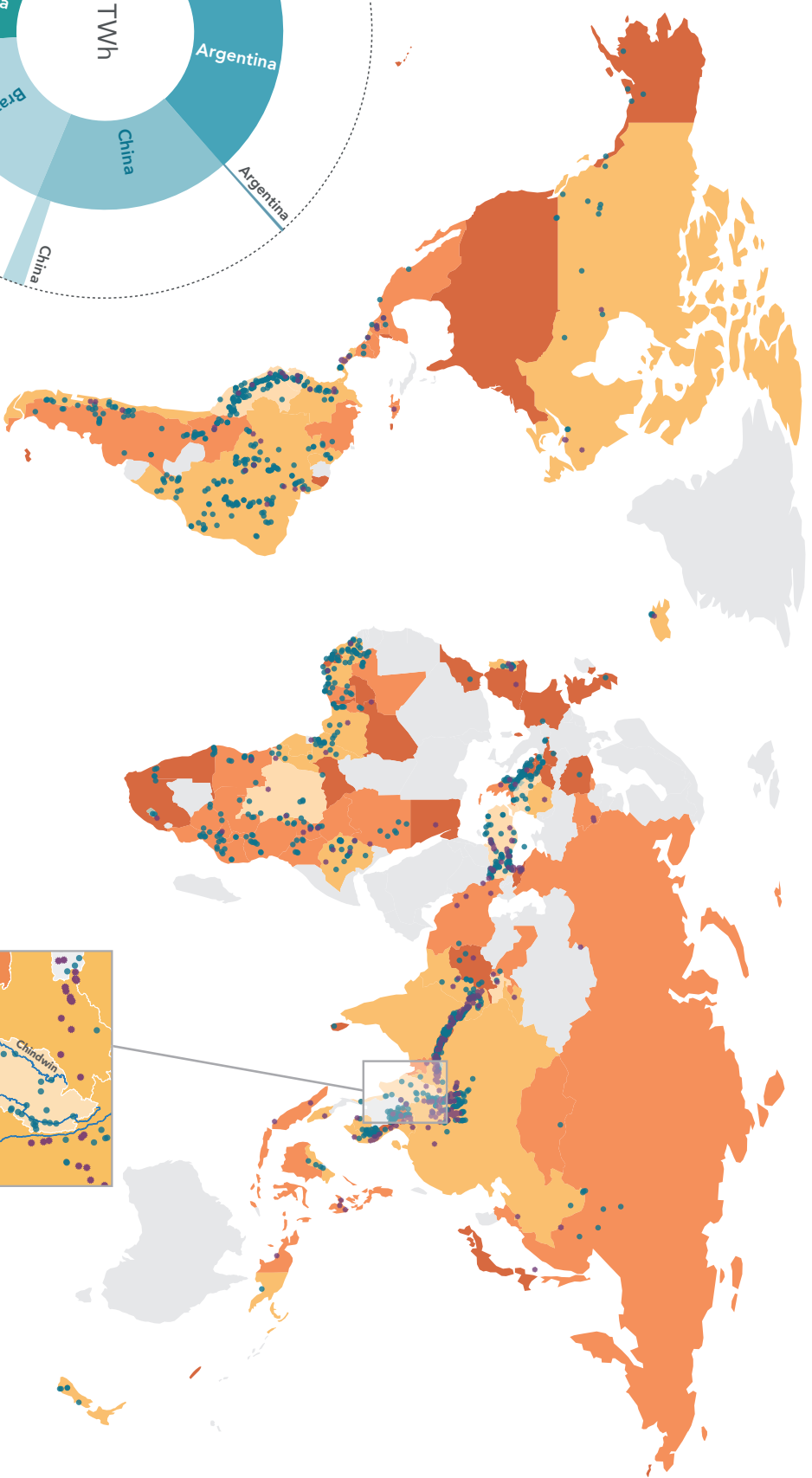
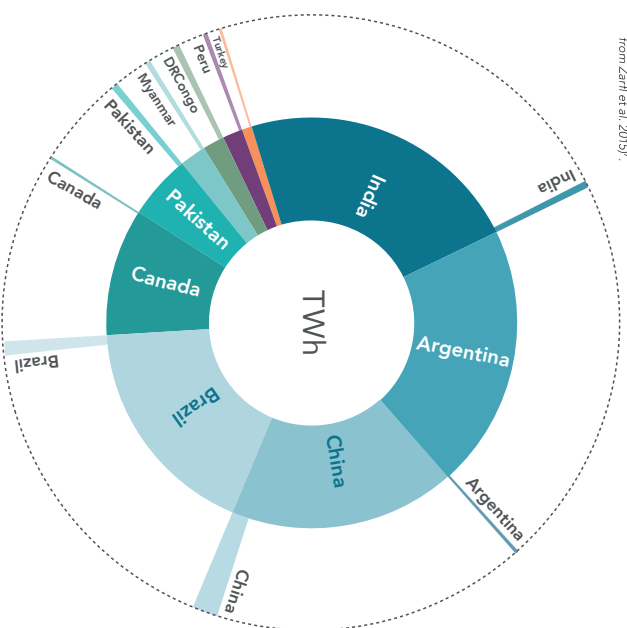
虽然有迹象表明可再生能源革命在湄公河地区占据了一席之地，但未来几年对像松博等高影响大坝的决策可能会阻碍更加平衡的结果。因此，需要合作的主动政策和规划，以确保各国追求更加可持续的能源道路。



Adam Oswell / WWF-Greater Mekong

3A. Potential generation by country: hydropower and low-impact wind and solar

Potential generation, in TWh, from low-impact wind and solar (inner ring, from Baruch-Mordo et al. 2018) and potential future hydropower (outer ring, from Zafri et al. 2015).



3B. Global map of potential hydropower and potential generation from low-impact wind and solar

Ratio of the potential generation from low-impact wind and solar to potential future hydropower by country. Under construction and potential dams are also displayed. The inset map illustrates potential dams on rivers in Myanmar – the last long free-flowing rivers in South or Southeast Asia.

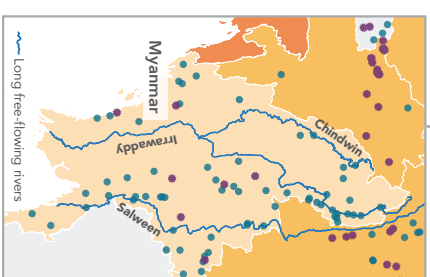
Hydropower dams

- Under construction
- Potential

Ratio of potential generation from low-impact wind and solar to generation from proposed hydropower dams

- < 1
- 1.1–10.0
- 10.1–100.0
- 100.1–1000.0
- > 1000

No data on potential hydropower



结论

在很短的时间内，实现低成本，低碳，低影响电力系统的愿景已成为可能。许多可再生能源革命已经在进行之中。虽然这种转变从政策中获得了一些初步的动力，但现在更多是技术创新和市场竞争驱动为导向。

我们不仅可以畅想一个电力系统可方便使用，价格合理，且能够用可再生能源技术，包括太阳能，风能，存储和低影响水电来助力经济的发展。更重要的是我们现在可以实现一个这样的未来。在实现电力需求的不断增长，和达成气候目标的同时，又避免了高影响水电对世界上剩余的自由流淌河流的负面影响。

实现愿景将需要所有国家的政策，财政和技术创新。幸运的是，在现阶段，低成本和低影响系统的良好可行性，以及实现这些系统的好处，正在变得日渐清晰，为不同的利益相关者群体创造了强大的激励机制（见专栏2）。这些利益相关者需要采取积极主动的合作行动，以确保快速转型到更可持续的电力系统。如果各种限制因素，仅仅推迟了十年的转变，那么例如湄公河，伊洛瓦底江和亚马逊等河流，以及全球数十或数百个其他河流的生态健康和生产力，将会因近乎永久性但可避免的重大影响而大大下降。如果可再生资源革命的全部环境效益来得太晚，那么对保护和自然所提供的各种各样的利益来说，将会是一个巨大的悲剧。为了避免这些损失，抓住我们面前能成长为协同加速的行动呼吁：政府，金融机构，私营部门，民间社会 and 科学家，我们需要团结起来，共同建立必要的工具和机制，为气候，河流和人类快速提供一个更可持续的能源未来。

ENDNOTES

¹ IRENA (2019), "Renewable Capacity Statistics 2019", International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi. Retrieved from: <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Capacity-Statistics-2019>

² IEA (2017), "Solar leads the charge in another record year for renewables". Retrieved from: <https://www.iea.org/renewables/2017>

³ Opperman, J., Groll, G. and Herrmann, J. (2019), "Renewable Energy: Finding balance between energy and conservation in hydropower development", Washington, DC: The Nature Conservancy.

⁴ Taska, Sam, (2019), Achieving the Paris Climate Agreement Goals, Springer.

⁵ Opperman, J., Groll, G., Herrmann, J., C.M., Chahel, J.R. and Opperman, J. (2018), From Paris to practice: sustainable implementation of renewable energy goals, Environmental Research Letters.

⁶ Opperman et al. (2015) (see note 5); Zarl, Berthelamp (2015) A global boom in hydropower dam construction. Aquatic Sciences 77 (3), 161-170.

⁷ Berthelamp, M. et al. (2018) (see note 5); Zarl et al. (2015) (see note 6).

⁸ Opperman et al. (2015) (see note 5); Zarl et al. (2015) (see note 6).

⁹ Opperman et al. (2015) (see note 5); Zarl et al. (2015) (see note 6).

¹⁰ Opperman et al. (2015) (see note 5); Zarl et al. (2015) (see note 6).

专栏 2

为一个可持续发展的能源未来来的主要贡献

- 各国政府可以 (1) 实施以综合电力系统为重点的系统规划和许可，以确定和开发低成本，低碳和低影响的电力系统。通过这种方式，各国可以重新评估水电计划，充分考虑河流的全部价值，并考虑提供低影响替代方案的可行性；(2) 建立竞争框架，加速可再生能源革命，帮助他们履行国际承诺。最重要的是国家对“巴黎协定”，可持续发展目标 (SDGs) 和“生物多样性公约”等目标的贡献。
- 开发商可以通过支持更全面的上游规划，以及使用可持续发展协议和保障措施，改进自己的项目评估，来促进转型。开发商可以受益于一系列的低风险项目，以及为水电行业提供提供更高价值的辅助服务。
- 金融机构还可以支持更全面的规划，作为开发低风险项目渠道的一种方式，将贷款重点放在这些计划中产生的机会上，并要求其客户采用更积极的可持续发展协议和保障措施。为这些活动提供直接资金至关重要。金融机构将不仅受益于风险较低的项目，尤其是与开发银行相关的项目，又可实现更多元的目标，如多项可持续发展目标 (SDGs)。