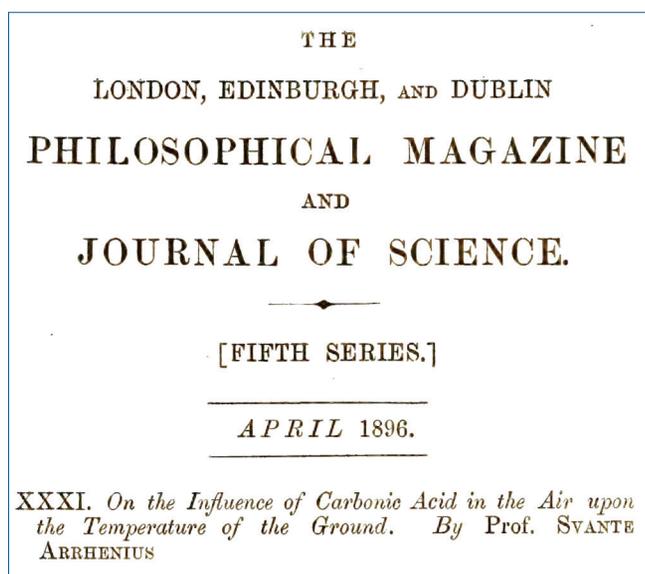




Maria Vittoria Barbarulo^a, Franco Calascibetta^b
 Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica
^amvbar.edu@gmail.com
^bfranco.calascibetta@fondazione.uniroma1.it

PERCHÉ ARRHENIUS SI OCCUPÒ DELLA CO₂ ATMOSFERICA?

Svante Arrhenius (1859-1927) è certamente noto soprattutto per la sua teoria della dissociazione elettrolitica. In realtà, nel corso della sua vita, egli coltivò interessi scientifici estremamente ampi. Tra essi, in anni recenti, è stato in particolare rivalutato il suo ruolo di pioniere negli studi su quello che oggi chiamiamo “effetto serra”.



Introduzione

Per molti anni la fama mondiale di S. Arrhenius è stata legata al suo ruolo di fondatore della moderna chimica fisica insieme J. Van't Hoff e W. Ostwald. I suoi contributi più noti in questo ambito furono la teoria della dissociazione elettrolitica, per la quale gli venne assegnato il premio Nobel nel 1903, e lo studio dell'influenza di una variazione di temperatura sulla velocità di una reazione.

Negli ultimi decenni si è però sempre più ricordato un altro suo studio, presentato nel 1896 in un articolo intitolato “On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground” [1]. Per le considerazioni ivi esposte e da lui ribadite

più volte in successivi scritti, Arrhenius viene considerato come uno dei principali precursori delle ricerche su quello che più recentemente è stato chiamato “effetto serra”, di cui “l'acido carbonico” (in termini moderni CO₂), è tra le principali cause. In questo articolo cercheremo di illustrare i motivi che spinsero Arrhenius a questa ricerca, le modalità con cui la condusse e le conclusioni alle quali arrivò, inquadrando storicamente il tutto nel contesto scientifico e culturale in cui lo scienziato svedese si mosse.

CO₂, ciclo del carbonio e glaciazioni: il clan degli svedesi

Come noto, Arrhenius ricevette una valutazione poco lusinghiera per la sua tesi di dottorato all'Università di Uppsala, in cui esponeva le sue prime considerazioni sulla natura di alcune sostanze sciolte in acqua, che rendevano la soluzione in grado di condurre. Ciò lo spinse a trasferirsi all'estero fin dal 1886. Questo allontanamento dalla Svezia durò diversi anni, durante i quali lavorò tra l'altro con W. Ostwald a Lipsia, L. Boltzmann a Graz e J.H. van't Hoff ad Amsterdam. In questo periodo egli mise a punto in forma definitiva la sua teoria della dissociazione elettrolitica. Solo nel 1891, ormai scienziato internazionalmente apprezzato, tornò in Svezia come insegnante alla Höögskola di Stoccolma. Questo di fatto segnò anche il suo graduale allontanamento dagli studi di chimica fisica; negli ultimi decenni della sua vita, infatti, egli



238

INTRÄDESKORT

till

Professor **SVANTE ARRHENIUS'**

FÖRELÄSNINGAR

den 8 och 22 Febr. 1907 kl. 8 e. m.

å K. F. U. M:s hörsal.

Salen.

Fig. 1 - Biglietto d'ingresso per una conferenza di Arrhenius (vedi [2])

divenne un eccellente naturalista (nel senso primigenio della parola): i suoi interessi si diressero in particolare alla fisica e alla chimica dei fenomeni cosmici e meteorologici, in cui si propose di applicare le leggi della chimica teorica alle osservazioni astronomiche, geofisiche e geologiche esistenti. Una delle prime iniziative di Arrhenius, una volta entrato a far parte della Högskola, fu quella di fondare una Società scientifica in cui, ogni due settimane, i componenti si riunivano per ascoltare lezioni e discutere dei più recenti progressi della fisica, intesa in senso lato, includente campi come la meteorologia, la geofisica, l'astrofisica, oltre alla chimica fisica. La Società organizzava conferenze pubblicizzate sulla stampa locale. Arrhenius tenne personalmente la maggior parte di tali conferenze sia a Stoccolma che in altre città della Svezia. Tali eventi, grazie an-

che alle sue capacità di conferenziere, attiravano un vasto pubblico [2, pag. 19] (Fig. 1).

Gli interessi di Arrhenius sul ruolo della CO_2 per le mutazioni climatiche ebbero origine in particolare da due tematiche dibattute all'interno della Società negli anni tra il 1892 e il 1894. La prima è attribuibile soprattutto al geologo Arvid Högbom, che, in numerosi incontri, illustrò le componenti del ciclo geochimico in cui la CO_2 era sviluppata e consumata. Tra le prime citò le esalazioni vulcaniche e la combustione dei combustibili fossili; tra le seconde ricordò il ruolo della vegetazione, la formazione di carbonati dai silicati per degradazione meteorica e l'assorbimento di CO_2 degli oceani.

L'altro filone di indagine riguardava i cambiamenti climatici, introdotto inizialmente dal meteorologo Nils Ekholm, che, nel 1893, tenne una conferenza sulle condizioni astronomiche, fisiche e meteorologiche, da lui indicate come possibili cause delle ere glaciali successive al periodo di clima più mite dell'era terziaria.

Questi furono i due spunti che stimolarono Arrhenius a studiare se i cambiamenti climatici potessero essere collegati alle variazioni a lungo termine della CO_2 . Vedremo nel prossimo paragrafo a partire da quali contributi precedenti e da quale serie di dati disponibili egli riuscì a costruire un modello esplicativo, trasformando le sue iniziali congetture in una teoria scientifica. Per il ruolo che Högbom, Ekholm e Arrhenius collettivamente ebbero per questa prima sottolineatura del ruolo della CO_2 nei cambiamenti climatici, i tre sono stati anche definiti "il clan degli svedesi" [3] (Fig. 2).



Fig. 2 - Il "clan degli svedesi": da sinistra S. Arrhenius, N. Ekholm, A. Högbom

L'influenza della CO₂ sulla temperatura terrestre

Nel citato articolo del 1896, Arrhenius ricordava i contributi precedenti che avevano iniziato a identificare il ruolo dell'atmosfera nel mantenere la temperatura sulla Terra, in un equilibrio tra l'energia ricevuta dal sole e quella irradiata nello spazio. Tra essi citò innanzitutto il matematico e fisico francese J. Fourier, che, già nel 1824, aveva sottolineato la trasparenza dell'atmosfera rispetto alla radiazione luminosa solare e la sua capacità di trattenere la radiazione infrarossa che la terra emetteva [4]. Qualche decennio dopo, J. Tyndall aveva misurato sperimentalmente la capacità dei diversi gas di assorbire la radiazione infrarossa ed aveva indicato soprattutto il vapor acqueo presente nell'atmosfera come il maggior responsabile nel determinare la temperatura del pianeta [5].

Arrhenius, non escludendo il ruolo del vapor acqueo, si propose però di quantificare quello della CO₂. Per avere un'idea di quanto intensamente la radiazione della Terra venisse assorbita da questi due aeriformi nelle proporzioni in cui essi sono presenti nella nostra atmosfera, egli avrebbe dovuto, a rigor di termini, organizzare esperimenti sull'assorbimento di calore di quantità appropriate di entrambi. Ma tali esperimenti non erano stati mai condotti fino a quel momento, né Arrhenius era in grado di realizzarli.

Per risolvere il problema egli ebbe l'idea di servirsi dei dati pubblicati da Langley nella sua opera "The Temperature of the Moon" [6], per dedurre da essi, tramite calcoli, l'entità dell'assorbimento di calore da parte del vapore acqueo e della CO₂.

Samuel P. Langley, astronomo e fisico americano, specialista in spettroscopia infrarossa, aveva effettuato ampie osservazioni sulla quantità di calore ricevuta sulla Terra dalla luna piena presso l'Osservatorio di Allegheny negli anni dal 1885 al 1887. A tal fine, aveva utilizzato il bolometro, uno strumento da lui sviluppato per misurare l'energia della radiazione in funzione della lunghezza d'onda. Il bolometro era particolarmente adatto a misurare le piccole quantità di "calore oscuro" emesse dalla luna che cadevano nella parte infrarossa estrema dello spettro. L'insieme dell'apparato messo a punto da Langley è schematizzato in Fig. 3 [7].

Arrhenius ritenne di potersi servire dei dati ottenuti da Langley, ipotizzando che, poiché la temperatu-

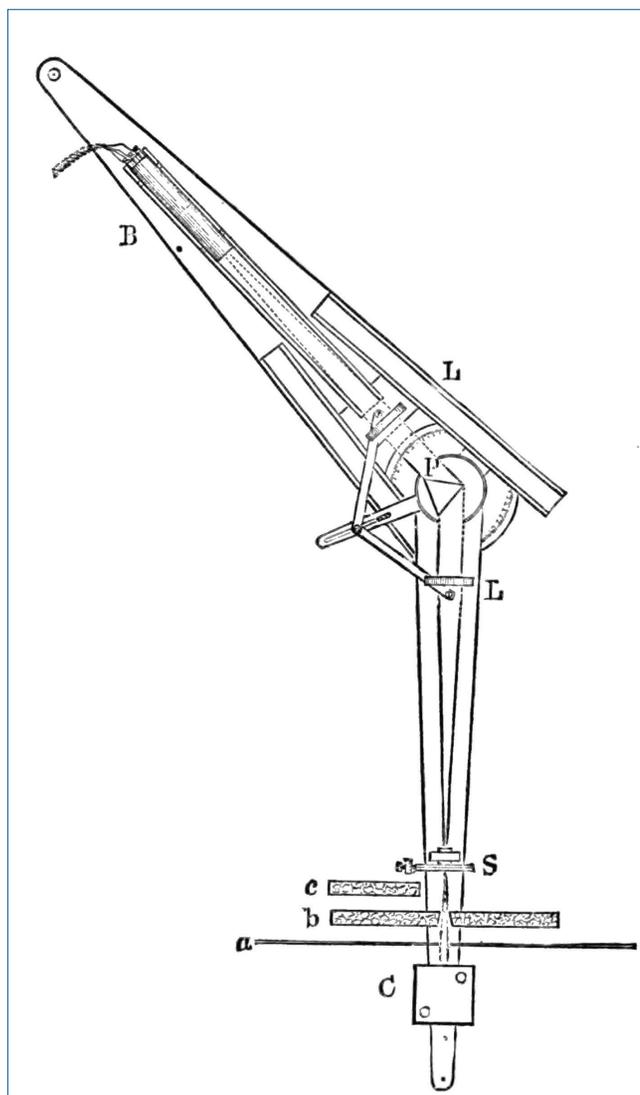


Fig. 3 - Lo spettrobolometro di Langley. Per la descrizione completa dell'apparato vedi [7]

ra della luna risultava simile a quella della Terra, anche gli spettri di emissione sarebbero stati analoghi. Inoltre egli assunse che l'assorbimento da parte di H₂O e CO₂ delle radiazioni infrarosse, che penetravano nella Terra dalla Luna attraversando l'atmosfera, fosse simile a quello del calore irradiato dalla Terra nell'atmosfera.

Non entriamo nei dettagli dei calcoli che Arrhenius dovette affrontare, per estrapolare dalle misure di Langley di quanti gradi sarebbe aumentata o diminuita la temperatura terrestre, a varie latitudini, al variare della percentuale di CO₂. Secondo alcuni, tali calcoli furono migliaia forse decine di migliaia ed Arrhenius vi lavorò per quasi un anno fino alla fine del 1895, dedicando ad essi anche quattordi-



TABLE VII.—Variation of Temperature caused by a given Variation of Carbonic Acid.

Latitude.	Carbonic Acid=0.67.					Carbonic Acid=1.5.					Carbonic Acid=2.0.					Carbonic Acid=2.5.					Carbonic Acid=3.0.				
	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.	Dec.-Feb.	March-May.	June-Aug.	Sept.-Nov.	Mean of the year.
70	-2.9	-3.0	-3.4	-3.1	-3.1	3.3	3.4	3.8	3.6	3.52	6.0	6.1	6.0	6.1	6.05	7.9	8.0	7.9	8.0	7.95	9.1	9.3	9.4	9.4	9.3
60	-3.0	-3.2	-3.4	-3.3	-3.22	3.4	3.7	3.6	3.8	3.62	6.1	6.1	5.8	6.1	6.02	8.0	8.0	7.6	7.9	7.87	9.3	9.5	8.9	9.5	9.3
50	-3.2	-3.3	-3.3	-3.4	-3.3	3.7	3.8	3.4	3.7	3.65	6.1	6.1	5.5	6.0	5.92	8.0	7.9	7.0	7.9	7.7	9.5	9.4	8.6	9.2	9.17
40	-3.4	-3.4	-3.2	-3.3	-3.32	3.7	3.6	3.3	3.5	3.52	6.0	5.8	5.4	5.6	5.7	7.9	7.6	6.9	7.3	7.42	9.3	9.0	8.2	8.8	8.82
30	-3.2	-3.2	-3.1	-3.1	-3.17	3.5	3.3	3.2	3.5	3.47	5.6	5.4	5.0	5.2	5.3	7.2	7.0	6.6	6.7	6.87	8.7	8.3	7.5	7.9	8.1
20	-3.1	-3.1	-3.0	-3.1	-3.07	3.5	3.2	3.1	3.2	3.25	5.2	5.0	4.9	4.9	4.95	6.6	6.4	6.3	6.4	6.42	7.4	7.3	7.2	7.3	7.32
10	-3.1	-3.0	-3.0	-3.0	-3.02	3.2	3.2	3.1	3.1	3.15	5.0	5.0	4.9	4.9	4.95	6.4	6.3	6.3	6.4	6.42	7.4	7.3	7.2	7.3	7.3
0	-3.0	-3.0	-3.1	-3.0	-3.02	3.1	3.1	3.2	3.2	3.15	4.9	4.9	5.0	5.0	4.95	6.4	6.4	6.6	6.6	6.5	7.3	7.3	7.4	7.4	7.35
-10	-3.1	-3.1	-3.2	-3.1	-3.12	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	5.0	5.0	5.2	5.1	5.07	6.6	6.6	6.7	6.7	6.65	7.4	7.5	8.0	7.6	7.62
-20	-3.1	-3.2	-3.3	-3.2	-3.2	3.2	3.2	3.4	3.3	3.27	5.2	5.3	5.5	5.4	5.35	6.7	6.8	7.0	7.0	6.87	7.9	8.1	8.6	8.3	8.22
-30	-3.3	-3.3	-3.4	-3.4	-3.35	3.4	3.5	3.7	3.5	3.52	5.5	5.6	5.8	5.6	5.62	7.0	7.2	7.7	7.4	7.32	8.6	8.7	9.1	8.8	8.8
-40	-3.4	-3.4	-3.3	-3.4	-3.37	3.6	3.7	3.8	3.7	3.7	5.8	6.0	6.0	6.0	5.95	7.7	7.9	7.9	7.9	7.85	9.1	9.2	9.4	9.3	9.25
-50	-3.2	-3.3	—	—	—	3.8	3.7	—	—	—	6.0	6.1	—	—	—	7.9	8.0	—	—	—	9.4	9.5	—	—	—
-60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

266 Prof. S. Arrhenius on the Influence of Carbonic Acid

Fig. 4 - L'influenza della CO₂ sulla T del pianeta secondo Arrhenius (vedi[1])

ci ore al giorno*. Di tutto questo imponente lavoro ci basta riportare il risultato finale espresso nella Tabella che pubblicò nell'articolo del 1896 [1, pag. 266] (vedi Fig. 4).

In essa era riportata la variazione media della temperatura che si sarebbe verificata se la quantità di CO₂ fosse cambiata dal suo valore valutato all'epoca, preso come riferimento pari a 1. Tale variazione era riportata per diverse latitudini, in momenti diversi dell'anno. Esaminando i dati è stato giustamente notato come, malgrado tutte le approssimazioni presenti nelle riflessioni dello scienziato svedese, essi non siano affatto così diversi da quelli che decenni dopo è stato possibile calcolare, con ben altri mezzi a disposizione.

A commento della Tabella Arrhenius così affermava: "Pertanto, se la quantità di acido carbonico aumenta in progressione geometrica, l'aumento della temperatura aumenterà quasi in progressione aritmetica. Questa regola, che naturalmente vale solo per la parte studiata, sarà utile per le seguenti stime riassuntive.

Alla Società di Fisica di Stoccolma si sono tenute occasionalmente discussioni molto animate sulle probabili cause dell'era glaciale; e queste discussioni hanno portato, a mio parere, alla conclusione che non esiste ancora un'ipotesi soddisfacente che possa spiegarle... Le conversazioni con il mio amico e collega Professor Högbom, insieme alle discussioni sopra menzionate, mi hanno portato a

formulare una stima preliminare del probabile effetto di una variazione dell'acido carbonico atmosferico sulla temperatura terrestre. Poiché questa stima ha portato alla convinzione che in questo modo si potesse probabilmente trovare una spiegazione per variazioni di temperatura di 5-10 °C, ho elaborato il calcolo più dettagliatamente e lo presento ora al pubblico e alla critica".

Dalla citazione appare come nel 1896 Arrhenius, nel suo studio, avesse cercato soprattutto di spiegare con la diminuzione e l'aumento di CO₂ nell'atmosfera

l'alternarsi tra ere glaciali ed ere più calde. Al presente, in realtà, si ritiene che il diossido di carbonio non sia la causa diretta delle glaciazioni e delle variazioni climatiche a livello geologico e che esse dipendano soprattutto dalle variazioni dei parametri orbitali della Terra (eccentricità orbitale, inclinazione assiale, precessione dell'orbita) [8].

In riflessioni successive Arrhenius ampliò comunque le sue riflessioni e si pose il problema se l'azione dell'uomo, con la conseguente crescente emissione di CO₂ dovuta all'utilizzo dei combustibili fossili, non avrebbe anch'essa contribuito al riscaldamento del pianeta.

Citiamo da una sua celebre pubblicazione del 1908 [9, pag. 63]: "Spesso sentiamo lamentarsi che il carbone immagazzinato nella terra viene sprecato dalla generazione attuale senza alcun pensiero per il futuro, e siamo terrorizzati dalla terribile distruzione di vite e proprietà che è seguita alle eruzioni vulcaniche dei nostri giorni. Possiamo trovare una sorta di consolazione nella considerazione che qui, come in ogni altro caso, c'è del bene mescolato al male. Grazie all'influenza della crescente percentuale di acido carbonico [CO₂] nell'atmosfera, possiamo sperare di godere di epoche con climi più uniformi e migliori, specialmente per quanto riguarda le regioni più fredde della terra, epoche in cui la terra produrrà raccolti molto più abbondanti di quelli attuali, a beneficio della rapida propagazione dell'umanità".

*Nell'articolo del 1896 egli stesso affermò "Certamente non avrei intrapreso questi calcoli noiosi se non vi fosse stato associato un interesse straordinario". In questo anno che Arrhenius trascorse completamente immerso in tali calcoli, sul piano personale egli assistette alla rottura del suo primo matrimonio con Sofia Rudbeck, già sua allieva. Alcuni hanno voluto trovare una relazione tra questi eventi (<https://www.newyorker.com/magazine/2022/11/28/climate-change-from-a-to-z>). Da Sofia Rudbeck, a novembre del 1895, quando erano già separati, Arrhenius ebbe un figlio, Olof. Ebbe poi altri tre figli, due femmine e un maschio, nel suo secondo matrimonio con Maria Johansson, che sposò nel 1905.

Qualche riflessione finale

A prima vista queste ultime considerazioni possono apparire sorprendenti a noi uomini del XXI secolo, abituati a ritenere giustamente un grave problema l'aumento della presenza di CO₂ nell'atmosfera e il conseguente innalzamento della temperatura media del pianeta. Come studiosi della storia delle scienze, cerchiamo però sempre di collocare gli scienziati del passato nel loro ambito storico e culturale. Arrhenius era in ogni caso un abitante del nord Europa, regione che da sempre doveva confrontarsi con le difficoltà che crea per la stessa vita delle popolazioni un ambiente freddo come quello dei Paesi scandinavi, in cui neve e ghiaccio la fanno da padroni per molti mesi dell'anno. Per lui quindi un aumento della temperatura di qualche grado poteva essere visto in prima istanza come un fattore positivo, che avrebbe reso più facile le coltivazioni, i trasporti e le altre attività umane. Del resto è innegabile che, se l'aumento della percentuale di CO₂ nell'atmosfera ci appare giustamente in grado di creare problemi già ora e sempre più in un prossimo futuro, un'ipotetica sua diminuzione molto al di sotto del valore di 300 ppm avrebbe ugualmente conseguenze negative. Inoltre, Arrhenius, per quanto potesse essere consapevole di un ulteriore aumento nell'utilizzo del carbone e degli altri combustibili fossili rispetto al presente in cui viveva, non poteva valutare appieno quanto sarebbe aumentata la popolazione mondiale, quanto sarebbe cresciuta l'industrializzazione dell'intero pianeta e, di conseguenza, il bisogno di energia ed il ricorso massiccio ed incontrollato a carbone e petrolio come principali fonti energetiche.

A tutto questo dobbiamo aggiungere la presenza, in lui e molti altri scienziati della sua epoca, di un approccio che è stato definito "evoluzionismo ottimista", caratterizzato da una salda fede nella scienza e nella sua capacità di influenzare le scelte dell'umanità. Questo ottimismo scientifico e tecnologico ebbe fine per molti allo scoppio della prima guerra mondiale [2, pag. 8].

In conclusione, le ricerche di Arrhenius sopra esposte, come tante altre che sviluppò - dall'aurora boreale alla panspermia, dai fenomeni vulcanici all'origine delle nebulose - furono frutto della sua curiosità di scienziato a tutto tondo. Questa lo portò spesso a elucubrazioni che andavano anche

al di là dei confini delle conoscenze dell'epoca e come tali nemmeno adeguatamente apprezzabili nel periodo in cui visse. Questo è stato anche il caso dei suoi studi sull'influenza della CO₂ sul cambiamento climatico, che hanno incontrato l'interesse degli scienziati solo molte decine di anni dopo la sua morte [10], in un diverso contesto che ha trasformato le sue pionieristiche considerazioni in un allarmato avvertimento circa i rischi che l'effetto serra può comportare per il futuro della civiltà umana sul nostro pianeta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Arrhenius, *Philosophical Magazine*, 1896, **41**(251), 237.
- [2] G. Arrhenius, K. Caldwell, S. Wold, A Tribute to the Memory of Svante Arrhenius (1859-1927) a scientist ahead of his time by and, IVA, Stockholm, 2008.
- [3] T. Laconde, Arrhenius, Högbom et Ekholm: le clan des suédois, <https://energie-developpement.blogspot.com/2017/08/arrhenius-hogbom-ekhlom-rechauffement-climatique.html>
- [4] J. Fourier, *Annal. Chim. Phys.*, 1824, **27**, 136.
- [5] J. Tyndall, *Heat Considered as a Mode of Motion*. 2nd Ed. Longmans, Green and Co., London, 1865.
- [6] S. Langley, *Mem. Nat. Acad. Sci.*, 1888, **4**, 107.
- [7] S. Langley, *Am. Jour. Sci.*, 1886, **31**, 1.
- [8] A. Berger, *Rev. Geophys.*, 1988, **26**, 624.
- [9] S. Arrhenius, *Världarnas utveckling/Worlds in the making* (trad. in inglese di H. Borns), Harper & Brothers Publ., New York, 1908.
- [10] E. Crawford, *Ambio*, 1997, **26**(1), 6.

Why Did Arrhenius Care About Atmospheric CO₂?

Svante Arrhenius (1859-1927) is certainly best known for the Nobel prize awarded theory of electrolytic dissociation; however, he made pioneering and remarkable contributions to many fields of Science, as in the case of the relationship between atmospheric CO₂ and the temperature at the surface of the Earth.